



**БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ
НАЦИОНАЛЕН ИНСТИТУТ ПО ГЕОФИЗИКА,
ГЕОДЕЗИЯ И ГЕОГРАФИЯ**

Георги Костадинов Гаджев

**МУЛТИМАЩАБНО МОДЕЛИРАНЕ
НА ПРЕНОС НА ЗАМЪРСИТЕЛИ В
АТМОСФЕРАТА**

Авто реферат на дисертация за получаване на
научната и образователна степен “Доктор” по
научна специалност 01.04.08 “Физика на океана,
атмосферата и околоземното пространство”

научен ръководител: проф. дн Костадин Ганев

София
Октомври, 2013

Съдържание	
Съдържание	1
Увод	2
Глава I МЕТОДИКА НА ИЗСЛЕДВАНЕТО	3
Глава II НЯКОИ ОСНОВНИ ФАКТИ ОТНОСНО КЛИМАТА НА АТМОСФЕРНОТО ЗАМЪРСЯВАНЕ В БЪЛГАРИЯ	8
Глава III ОЦЕНКА НА ПРИНОСА НА ЕМИСИИТЕ ОТ ОТДЕЛНИ КАТЕГОРИИ ИЗТОЧНИЦИ (SNAP КАТЕГОРИИ) КЪМ ОБЩАТА КАРТИНА НА ЗАМЪРСЯВАНЕ В СТРАНАТА	17
Глава IV ОЦЕНКА ПРИНОСА НА РАЗЛИЧНИТЕ ПРОЦЕСИ КЪМ ФОРМИРАНЕ ОБЩАТА КАРТИНА НА ЗАМЪРСЯВАНЕ В СТРАНАТА	27
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	38
Литература	40

УВОД

Качеството на въздуха е ключов фактор както за комфорта и качеството на живот на хората, така и за състоянието на екосистемите, така че голямата обществена значимост на проблемите на атмосферното замърсяване едва ли буди съмнение у някого.

Численото моделиране на атмосферното замърсяване у нас има вече доста дълга история. Началото е поставено в края на 70-те - началото на 80-те години на миналия век (Yordanov et al., 1979a,b, Djolov, Syrakov, 1979, Syrakov, Djolov, 1979, Сираков Д. et al. 1982, Джолов et al. 1983, Syrakov D. 1997a,b).

Скоро след това работа по тази тематика започва и в тогавашния Геофизичен институт на БАН (Ганев, Лазаров, 1979, Ganev and Yordanov, 1981, Syrakov et al., 1983a,b,c, 1987a, 1987b, 1988a, 1988b, 1989a, 1989b, Syrakov and Ganev, 1983, 1989a, 1989b)

В началото на този век в рамките на проекта BULAIR от 5ПП на ЕК беше усвоена и адаптирана US EPA Models-3 system. С помощта на тези модели бяха решени следните задачи в рамките на проектите BULAIR (5ПП), ACCENT и QUANTIFY (6ПП), CECILIA и SEE-Grid-sci, (7ПП) и др.

С методите на численото моделиране у нас са решавани най-разнообразни задачи, например:

Изучаване на локалния и регионален пренос над Балканския полуостров, включително обмен на замърсяване между държавите: Dimitrova et al. (2001), Ganev et al. (2008a-d), Prodanova et al. (2005a,b, 2006a,b, 2008b), Syrakov and Prodanova (1997), Syrakov et al. (2001, 2002), Zerefos et al. (2000)

Регионално и локално моделиране на отделни епизоди с цел изучаване на определено явление, разкриване на взаимодействията между процесите и взаимното влияние на различни мащаби: Ganev et al (2003, 2009, 2011), Prodanova (2006c,d, 2007, 2008a), Syrakov E. et al. (1989a,b), Todorova et al. (2009, 2011), Zerefos et al. (1998, 2000, 2004a,b,)

Анализ на риска при аварийно отделяне на отровни вещества в атмосферата: Brandiyska et al. (2011a-c, 2012), Todorova et al. (2010, 2012)

Изследване влиянието на измененията в локалния климат върху замърсяването в България: Syrakov et al. (2009b, 2010, 2011, 2012)

Беше създадена и българска **национална система за прогноза на химическото време:** Etropolska et al. (2010, 2011), Syrakov et al. (2009a)

Вижда се, че въпреки многообразието от решени задачи и многобройните получени резултати, достатъчно мащабни, изчерпателни и детайлни симулации, които да дадат представа за климата на замърсяване на страната **у нас до сега не бяха правени.**

Изброените по-горе работи са основата и в голяма степен мотивацията на настоящия дисертационен труд.

Не пряко, но съществено влияние върху изложената по-нататък работа има обстоятелството, че тя е извършена в една професионална среда с високи научни критерии и съществени постижения в областта на моделиране на замърсяването – например Zlatev, 1995, Zlatev Z. and I. Dimov, 2006, Zlatev, Batchvarova, 2007, Dimov et al., 1996, 1998, 2004 a,b, 2005, Dimov, Zlatev, 2002, Georgiev, Zlatev, 1998, 1999, 2000, 2001, 2006, Georgiev, Donev, 2006, Ebel et al. 2007.

Настоящото изследване има следните цели:

1.) Със средствата на численото моделиране да генерира на статистически **представителен** ансамбъл от достатъчно **надеждни** и **детайлни** симулации на състава на атмосферата в страната. Така дефинираната цел съдържа три ключови думи, които следва да бъдат пояснени:

- Изискването за **представителност** на ансамбъла означава, че той трябва да отразява “почти изчерпателно” възможното многообразие на метеорологични условия, така че получените резултати в съвкупност наистина да характеризират “климата на замърсяване на атмосферата” в страната;

- Изискването за **надеждност** на симулациите означава, че резултатите трябва да бъдат надлежно проверени чрез сравнение с данни от измерванията и да удовлетворяват изискванията за качество на симулациите, дефинирани от националната и европейска нормативна база (European Parliament, 2002 и Приложение №4 към чл. 15, т.2 от Наредба №4 от 5.07.2004);

- Изискването за **детайлност** на симулациите означава, че получените полета на различни характеристики на замърсяването трябва да бъдат с достатъчно висока пространствена и времева разрешаваща способност, така че да отразяват конфигурации и да отчитат двустранните взаимодействия от различни (градски-локални-регионални) мащаби;

2.) Изясняване, на основата на получения ансамбъл от симулации, на основните характеристики на климата на замърсяване на страната – типични и екстремни стойности стойности с характерните им денонощен ход, годишна и сезонна повтаряемост.

3.) Изясняване на произхода на замърсяването и проследяване и характеризирание на основните процеси и механизми, водещи до формиране състава на атмосферата в страната;

От практическа гледна точка на настоящия труд следва да се гледа като на разработване на методика за получаване на научно обосновани, надеждни и представителни оценки на състава на атмосферата и неговия произход – основа за формулиране на стратегии за редуциране на замърсяването на въздуха.

Дисертационният труд се състои от четири глави.

В Глава I е направен кратък преглед на различни модели, използвани при моделиране състава на атмосферата и н методиките за инвентаризация на емисиите, накратко са описани числените експерименти и са приведени сравнени на моделните резултати с данни от измерванията.

В Глава II са приведени и коментирани някои от основните резултати относно климата на приземното замърсяване в страната.

Глава III е посветена на изследване приноса на различни категории източници към общата картина на замърсяването в страната.

Глава IV е посветена на изследване на различните процеси на пренос и трансформация и на оценка на приноса им към формиране на общата картина на замърсяването в страната.

Авторът дължи благодарност за плодотворното сътрудничество и постоянния интерес към работата по настоящият дисертационен труд на колегите си К. Ганев (научен ръководител), Д. Сираков, Н. Милошев, М. Проданова, А. Тодорова и Г. Йорданов.

Изключително полезни и крайно необходими бяха консултациите с Е. Атанасов и М. Дурчова от ИИКТ относно работа с компютърни кълстери и grid.

Колежката И. Иванова оказа съществена помощ при оформяне на илюстрациите.

Работите, изложени в настоящия труд са изпълнени с финансовата подкрепа на:

- Националният Фонд “Научни Изследвания” - проекта SuperCA++, договор ДЦВП-02/ 1 от 29.12.2009 с ФНИ-МОН,

- проекта от 7 РП на EC EGI-InSPIRE, EC-FP7 grant 261323,

- ESF project № BG51PO001-3.3.04-33/28.08.2009

По време на работата по дисертацията авторът е бил и стипендиант на World Federation of Scientists

Авторът дължи признателност на всички тези организации, както и на US EPA, US NCEP и TNO, The Netherlands за предоставените безплатни данни и софтуер.

ГЛАВА I МЕТОДИКА НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

В Глава I е представена методиката, с която е проведено настоящото изследване.

В I.2. е направен кратък преглед на съществуващите числени модели и инвентаризации на емисиите и наличните в страната данни от измерванията на качеството на въздуха.

В I.3. накратко е описана методиката на изследване – модели, входни данни, емисионно моделиране, области на интегриране и телескопизация (nesting), организация на числените експерименти.

В I.4. е разгледана верификация на компютърните симулации – сравнение на моделните концентрации с данни от измерванията.

В автореферата ще бъдат накратко предадено само съдържанието на I.3. и I.4.

Методиката на изследване – модели, входни данни, емисионно моделиране, области на интегриране и телескопизация (nesting), организация на числените експерименти.

Изследванията са проведени на базата на препоръчаната и развивана от Американската агенция по околна среда (AAOC) моделна система **Models-3**, която се състои от 3 подсистеми от модели, а именно:

- **CMAQ** (Denis et al., 1996, Byun and Ching, 1999, Byun and Schere, 2006) - Community Multi-scale Air Quality model (<http://www.cmaq-model.org/>), който е съвкупност от подходящо свързани

модули за пресмятане на дисперсията на замърсителите (транспорт, дифузия, суха и мокра депозиция) и техните химични трансформации.

- **MM5** (Dudhia, 1993, Grell et al., 1994) - the 5th generation PSU/NCAR Meso-meteorological Model (<http://box.mmm.ucar.edu/mm5/>) се използва като метеорологичен пре-процесор.

- **SMOKE** (Coats and Houyoux, 1996, Houyoux and Vukovich, 1999, CEP, 2003) - **S**parse **M**atrix **O**perator **K**ernel **E**missions **M**odelling **S**ystem (<http://www.smoke-model.org/>) - е емисионният пре-процесор на системата **Models-3**. Той подготвя емисионния вход за **CMAQ** и, както всеки друг елемент на системата е многокомпонентен – състои се множество модули, които в различните случаи се комбинират по подходящ начин.

Крупномасштабните (фонови) метеорологични данни, използвани в изследването са взети от 'NCEP Global Analysis Data' с хоризонтална разрешаваща способност $1^{\circ} \times 1^{\circ}$. При използване възможностите за 'nesting' на моделите MM5 и CMAQ беше постигната разрешаваща способност от 3 km за територията на България, чрез последователно решаване на задачата в няколко последователни, вметени една в друга области. Най-външната област (D1) е с хоризонтална разрешаваща способност 81 km, областта D2, която обхваща на практика цяла Европа е с хоризонтална разрешаваща способност 27 km, областта D3, като обхваща на Балканския полуостров е с хоризонтална разрешаваща способност 9 km, а най-вътрешната област, обхващаща България е с хоризонтална разрешаваща способност 9 km.

Беше използвана детайлната инвентаризация на емисиите, направена от TNO, Нидерландия (A. Visschedijk et al., 2007). Инвентаризацията на емисиите е направена на годишна база. Замърсителите са изчислени в групи като CH₄, CO, NH₃, NMVOC (No Methan VOC, VOC - Volatile Organic Compounds), NO_x, SO_x, PM₁₀ и PM_{2.5}. Тази инвентаризация е направена чрез де-агрегация на емисиите от инвентаризацията на EMEP (Vestreng, 2001, Vestreng et al, 2005).

За интерполация на емисиите в различните мрежи беше използвана GIS технология, чрез която бяха получени съответните площни и точкови източници за различните области на интегриране. Инвентаризацията на емисиите на TNO са дадени за 10 SNAP категории, което, както ще бъде демонстрирано в Глава III, позволява оценката на приноса на различни човешки дейности към общата картина на замърсяване на страната.

CMAQ, както и другите химически транспортни модели, изисква входа му с емисиите да бъде в определен формат отразяващ еволюцията във времето на всички замърсители, включени в използвания химичен механизъм. При подготовката на файла с емисии за **CMAQ**, трябва да се направят известен брой допълнителни процедури:

- Първо, цялата първична информация трябва да бъде интерполирана в съответната избрана мрежа/ мрежи (гридиране от grid – мрежа);
- Второ, трябва да бъдат наложени времеви профили които да модифицират годишните стойности, така че да се отчетат сезонните, седмичните и дневните вариации на работата на източниците.
- Накрая, емисиите от "фамилиите" органични газове и в по-малка степен SO_x, NO_x и PM_{2.5} трябва да бъдат разцепени или „преобразувани“ в по-голям брой компоненти, съгласно изискванията за емисионен вход на **CMAQ**, които пък зависят от избрания химически механизъм – процедура, наречена "speciation".

При това всеки от различните типове източници: площни (AS), големи точкови (LPS) и биогенни (BgS) следва да се третира по специфичен начин. (емисиите от транспорта също са отделна категория, но поради начина на инвентаризирането им у нас те се обединяват с площните източници). Очевидно, емисионните модели са необходими пре-процесори за моделите на химичните трансформации и пренос на замърсители. Такъв компонент в **Models-3** системата е **SMOKE**. За съжаление, както вече беше отбелязано, той е много силно адаптиран към условията в САЩ – инвентаризация на емисиите, административно деление, категоризации, горивни процеси и т.н..

За целите на настоящото изследване времевите вариации на емисиите са изчислени на базата на дневни, седмични и месечни профили предоставени в (Bultjes et al., 2003, Schaap et al., 2008). Тези времеви профили са специфични за държава, замърсител и относно SNAP (Selected Nomenclature for Air Pollution).

Процедурата по "speciation" е зависима от използвания химичен механизъм. **CMAQ** поддържа различни химични механизми. За целите на озоновото моделиране най-често се използва Carbon Bond

v.4 - **CB4** (Gery et al., 1989). Основата на **CB4** механизма е това че реактивността на органичните компоненти в атмосферата може да бъде симулирана добре от различни механизми представящи различни типове въглеродни връзки. От времето на публикуването **CB4**, са направени няколко промени. По-специално, добавена е химия на **PM**. Във версия 4.6 на **CMAQ CB4** е обновен с версия 1.7 на **ISORROPIA aerosol model** (Nenes et al., 1998). Според този комбиниран механизъм (**CB4-aero3**) 10 органични и 5 **PM2.5** съставки са добавени към входа с другите неорганични газове.

Разработен беше специфичен подход за осъществяване на това разцепване (speciation). Предлага се за целите на прогноза нивата на озона в нашата страна да се следва технологията разработена от US EPA Emission Factor and Inventory Group (Ryan, R., 2002). Всичката необходима информация може да бъде свалена от съответния уеб сайт (виж цитираната работа в Литературата към този отчет). На същото място може да се намерят профилите на спесиация както на **VOC**, така и на **PM2.5**, **NOx** и **SOx** и съответните справочни таблици. Много удобно е това че профилите са специфични за химичния механизъм давайки директно разделяне на коефициентите от количеството на **VOC** в [g/s] към блоковете замърсители в [moles/s], което е изисквания вход на емисиите за **CMAQ**.

Директното използване на тези доста детайлни данни не е възможно извън Северна Америка защото US EPA SCC (Source Category Code) съдържа около 10000 типа източника, докато **CORINAIR** съдържа по-малко от 300 типа източника и само 11 **SNAP** категории. За преодоляване на тази трудност, на основата на експертно проучване бяха открити редица съвпадения между главни Български източници за всеки **SNAP** и подобни на тях **SCC** източници. Тегловните (теглата са приноса в проценти на всеки тип източник съгласно US EPA SCC към съответната обща Българска емисия за съответния **SNAP**) средни за съответните профили на разцепване (speciation) от US EPA SCC са приети като разделящи фактори, специфични за съответния **SNAP**.

Входната информация, необходима за изчисляване на емисиите са мрежови данни за площните източници (Area Sources – AS), за мощните точкови източници (Large Point Sources – LPS) и данни за характера на земната повърхност (LandUse), необходими за моделиране на естествените (или биогенни) източници (BgS). Последните емитират органика, **CO** и **NO** и стойностите им зависят силно от метеорологичните условия, включително слънчевото греене.

SMOKE се използва и за направата на файл с третия вид емисии - биогенните емисии. **SMOKE** в момента поддържа механизма **BEIS** (Biogenic Emissions Inventory System), версии 2 и 3 (Pierce et al., 1998, Guenther et al., 2000). **BEIS2** и **BEIS3** се захранват с пространственото разпределение на вида подложна повърхност за първата стъпка от процеса – пресмятане на нормализираните емисии за всяка клетка от мрежата и за всяка категория подложна повърхност (това са емисиите при фиксирани стандартни метеорологични параметри). Финалната стъпка е привеждането на нормализираните емисии към актуални емисии на базата на гридирана, почасова метеорологична информация. В сегашната версия на **SMOKE** е вграден механизма **BEIS3.13** (Schwede et al., 2005).

Метеорологичния пре-процесор **MM5** беше форсиран с глобалните метеорологични данни 'NCEP Global Analysis Data' с хоризонтална разрешаваща способност $1^\circ \times 1^\circ$. В областта **D1** моделът е конфигуриран така, че се захранва с крупномасштабните данни за температура, влажност и вятър посредством процедура на четиримерна асимилация (**FDDA** - Stauffer and Seaman, 1990). За всички области (**D1**, **D2**, **D3**, **D4**) **MM5** работи едновременно в режим на "two-way nesting" – решенията в по-вътрешните области влияят на решението в по-външните. Вертикалната резолюция за всички области е 23 σ -нива до височина 100 hPa. **MM5** симулациите са направени на периоди от по 3 дни.. Всеки от периодите има начален 12-часов период на "spin-up", който се препокрива с последните 12 часа на предходния период.

Метеорологичния вход за **CMAQ** се генерира от изхода на **MM5** с помощта на метеорологично-химичния интерфейс **MCIP**, v2.3. Симулациите със **CMAQ** са проведени само в области **D2**, **D3** и **D4**. За начални условия в началния момент на симулациите са използвани стандартни за **CMAQ** (default) профили на концентрациите, които са получени от глобални модели. Граничните условия за по-вътрешните области се генерират от решението в съответната външна. Химическият механизъм **CB-4** с хетерогенна (Aqueous-Phase) химия и **MEBI** (Modified Eulerian Backward Iterative) метод за решаване уравненията на химични трансформации бяха използвани във всички области на интегриране. Симулациите със **CMAQ** бяха направени с вертикална резолюция от 15 σ -нива. Проведени бяха паралелни пресмятания с пет емисионни сценария:

Сценарий 1: емисионни данни за Европа и България, съгласно инвентаризацията направена от TNO, Нидерландия (A. Visschedijk et al., 2007).

Сценарий 2: Биогенните емисии в България редуцирани с фактора 0.8

Сценарий 3: Емисиите от SNAP категория 1 (енергетика) в България редуцирани с фактора 0.8

Сценарий 4: Емисиите от SNAP категория 7 (пътен транспорт) в България редуцирани с фактора 0.8

Сценарий 5: Емисиите от SNAP категория 2 (не индустриални изгаряния) в България редуцирани с фактора 0.8

Пресмятанията с MM5/CMAQ бяха направени за 8 години - от 2000 до 2007.

Верификация на компютърните симулации – сравнение на моделните концентрации с данни от измерванията.

Симулационните качества на моделите от **Models-3 system** са многократно проверявани и не подлежат на съмнение. Това, обаче, не гарантира автоматично и добро качество на компютърните симулации. Те зависят не само от използваните модели, но също така и от входните данни (качество, пространствено-времева разрешаваща способност) от емисионното моделиране, от правилно подбрани и комбинирани опции на моделите.

Ето защо беше направена проверка на получените моделни резултати посредством сравнение с измерени концентрации в станциите от националната система за контрол качеството на атмосферния въздух (НАСЕМ) са МОСВ.

Данните от измерванията имат задоволително качество. По друг начин стои въпросът с една друга много важна характеристика на данните - тяхната **представителност**. КАВ се наблюдава в по-големи градове и в места, в които съществува вероятност от влошаване здравето на населението в следствие замърсяване на атмосферата. С други думи мрежата на НАСЕМ е конфигурирана така, че да контролира потенциално най-опасните нива на замърсяване и за това измерванията в станциите и са представителни най-вече само за точките в които се правят измерванията. Например, автоматичната станция разположена на Орлов мост е представителна само за Орлов мост и едва ли за район с размери 3×3 км, каквато е изчислителната мрежа.

В НАСЕМ има само една фонова станция – тази на в. Рожен.

Бяха направени графики на разпръскването (Scatter diagrams) на данните от измерването и моделирането за SO₂, NO₂ и Озон. Един кратък съвместен преглед на всички графики води до следните обобщени изводи:

1.) Картината е доста различна за различните станции и за различните замърсители.

2.) Като правило симулациите подценяват нивата на SO₂ и NO₂. Това е лесно обяснимо, като се има пред вид, че станциите са разположени така, че да контролират потенциално най-опасните нива на замърсяване и за това измерванията в станциите и са представителни най-вече само за точките в които се правят измерванията, докато симулациите дават концентрации пространствено осреднени в клетки с размери 3×3 км.

3.) Съвпадението при озона е, като че ли по-добро. Това вероятно се дължи на факта, че озонът е вторичен замърсител, чиито концентрации не са толкова тясно свързани с детайлната конфигурация и времеви ход на емисиите (входни данни, изчислени със съществена неопределеност). Следва, също така, да се отбележи, че практически за всички станции се наблюдава известно надценяване от модела на по-ниските озонови концентрации, а това означава, че моделните оценки за евентуални опасни озонови концентрации могат да бъдат по-силни от тези, направени на базата на измервания.

4.) За доста от станциите голямата част от отклоненията на измерванията от данните са в границите $\pm 50\%$, а това означава, че в доста голяма степен е удовлетворено изискването за не повече от 50% неопределеност за едночасовите дневни средни стойности, дефинирано в съответните европейски директиви (European Parliament, 2002) и Приложение №4 към чл.15, т.2 от Наредба №4 от 5.07.2004.

Направено е сравнение и на пълзящите 8-часови средни (важна характеристика при определяне на озоновия индекс NOD60, измерващ отражението на озоновите концентрации върху човешкото здраве) на симулираните и измерени нива на озона. Резултатите за някои от станциите са показани на **Фиг. I.1.**

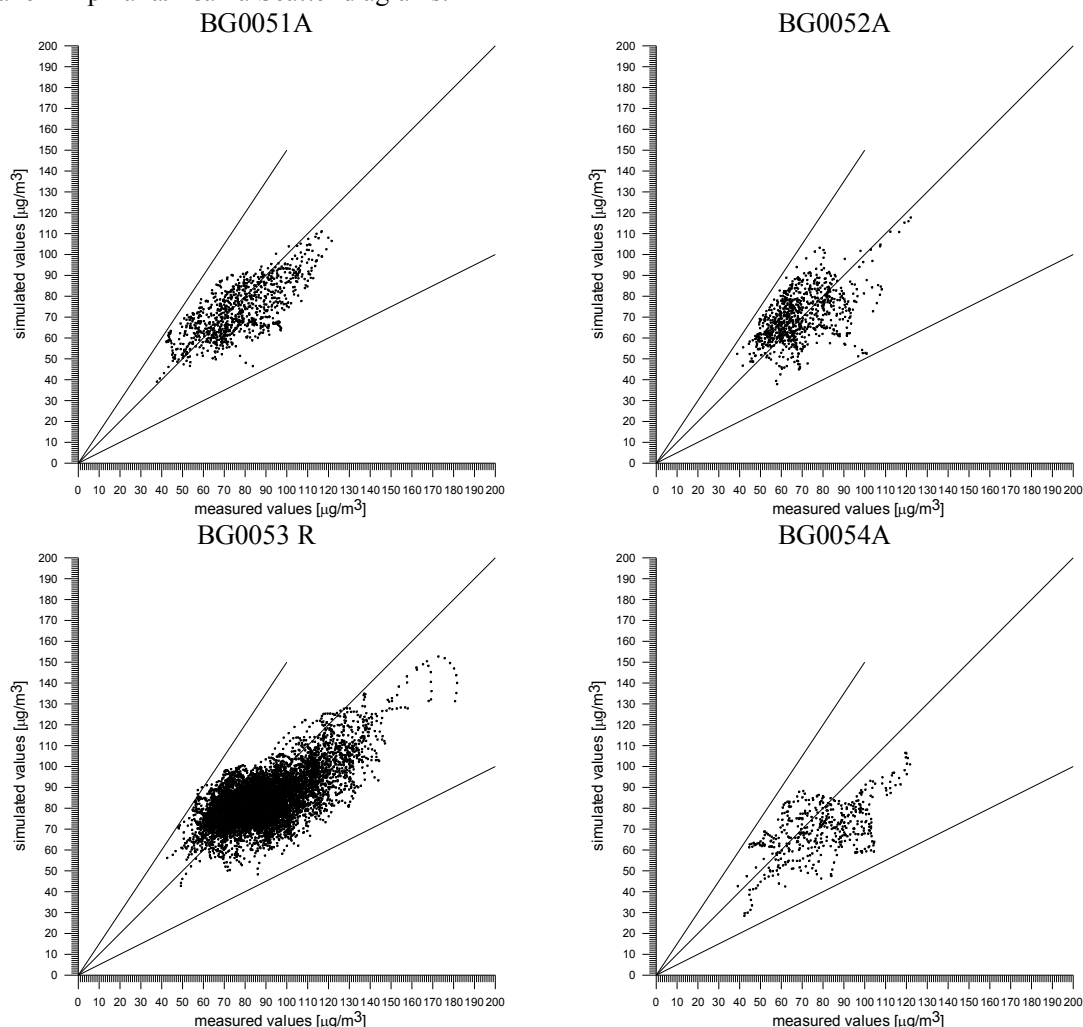
Веднага се забелязва, че съвпадението между симулирани и измерени стойности при 8-часовите пълзящи средни е много по-добро, отколкото при часовите стойности. Очевидно е по-малкото разсейване на точките около линията на идеално съвпадение, както и по-добрата корелация между симулирани и измерени стойности.

Категорично е удовлетворено цитираното по-горе изискване за не повече от 50% неопределеност.

Показаните Scatter diagrams дават много нагледна оценка за степента на съвпадение на моделните резултати с данните от измерванията. Наред с тях са изчислени и някои характеристики (статистически оценки), обективно оценяващи състоятелността на генерирания ансамбъл от компютърни симулации.

Стойностите на съответните статистически характеристики за различни замърсители в станциите на НАСЕМ са показани в дисертацията. Заедно с тях е показан и процентът случаи, когато отклоненията на симулациите от измерванията са в границите $\pm 50\%$.

Изводите, които могат да бъдат направени от таблицата по същество съвпадат с тези, направени при анализа на Scatter diagrams.



Фиг. I.1. Сравнение на осреднените с 8-часово пълзящо средно приземни концентрации на озон пресметнатите при **емисионен сценарий 1** със съответно осреднените данни от измерванията в съответните станции на НАСЕМ

Като се има пред вид съществената неопределеност на емисионните входни данни и само частичната представителност на станциите от НАСЕМ, може да се направи заключението, че съвпадението на симулираните резултати с данните от измервания е достатъчно добро (отклоненията са в разумни граници). Това показва, че ансамбълът компютърни симулации като цяло е достатъчно надеждна основа, на която да се правят изводи относно климата на замърсяване на страната, така че

разглежданията и изводите в следващите глави имат смисъл.

ГЛАВА II НЯКОИ ОСНОВНИ ФАКТИ ОТНОСНО КЛИМАТА НА АТМОСФЕРНОТО ЗАМЪРСЯВАНЕ В БЪЛГАРИЯ

В резултат на проведените числени симулации беше генериран ансамбъл, достатъчно обемен и изчерпателен, за да може на негова основа да се направи надеждна оценка на климата на атмосферно замърсяване на страната – да се очертаят типични и екстремни характеристики на замърсяването с тяхната повторяемост, пространствена и времева (деноношна, сезонна) изменчивост.

В настоящата ГЛАВА II са показани някои от основните факти относно климата на атмосферно замърсяване в България, изведени от резултатите от компютърните симулации. В този смисъл в параграф II.2. са представени някои осреднени по ансамбъла приземни концентрации на замърсители за територията на България и за отделни точки, а също така и абсолютните максимални, получени при анализ на целия ансамбъл, концентрации за съответния замърсител. В II.3. са представени някои статистически характеристики на осреднените приземни концентрации на различни емисии за територията на България и за отделни точки. В същият параграф са показани и примери за плътността на вероятностно разпределение за някои от основните замърсители с тяхната сезонна и географска изменчивост. И най-накрая в II.5. са представени някои от най-използваните и важни индекси на озоново замърсяване, които са важни не само за човешкото здраве, но също така, горското и селското стопанство.

В автореферата по-подробно ще бъдат коментирани само годишно осреднените двумерни полета на концентрациите, някои статистически характеристики на приземните концентрации на различни замърсители за територията на България и за отделни точки и индексите на замърсяване

Двумерни осреднени полета на приземните концентрации

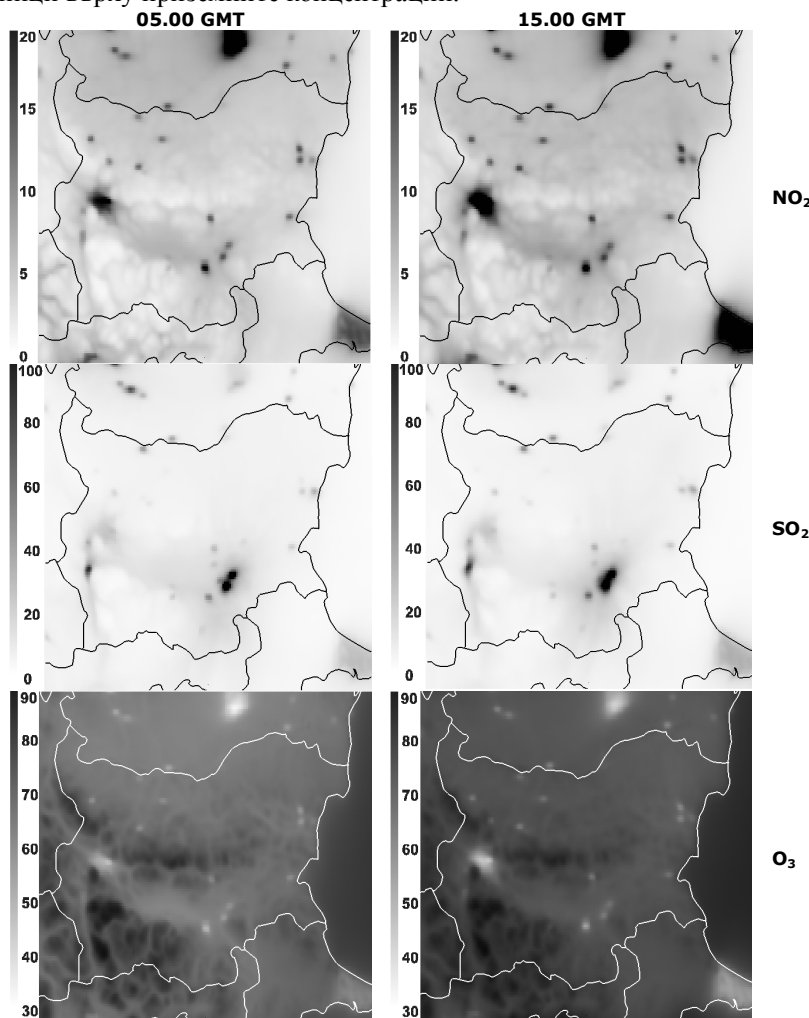
Чрез осредняване по 8 годишният ансамбъл на получените чрез числени експерименти полета за различните замърсители могат да бъдат получени средните годишни и сезонни приземни концентрации. Те могат да бъдат разглеждани като “типични” годишни или съответно сезонни денонощни концентрации. От ансамбъла могат да се изведат и абсолютните максимални годишни и сезонни концентрации, също със своя денонощен ход.

Карти за тези “типични” средни и максимални, годишни и по сезони приземни концентрации за отделните замърсители са представени и описани в приложение II.1.. Най-известните замърсители, за които тези характеристики са коментирани в самата дисертация са – азотен диоксид (NO_2), озон (O_3), изопрен (ISOP), серен диоксид (SO_2), амония/ амоняк (NH_3), амоний/ амониум (PNH_4), първични органични аерозоли (POA), вторични органични антропогенни аерозоли (SOAA), вторични органични биогенни аерозоли (SOAB), едри прахови частици (CPRM) и фини прахови частици (FPRM), за 05:00, 11:00, 17:00 и 23:00 GMT.

Пример за някои двумерни осреднени полета на приземните концентрации е даден на **Фиг. II.1.**

От картите на средно годишните приземни концентрации на NO_2 се вижда, концентрациите не са много високи и имат добре изразен денонощен ход. В 05:00 часа добре се открояват големите градове с най-високи стойности, като на определени места в тях те достигат около $25\mu\text{g}/\text{m}^3$. Основната пътна мрежа се характеризира със стойности около $10\mu\text{g}/\text{m}^3$, като за някои промишлени предприятия и топло електрически централи те са около $20\mu\text{g}/\text{m}^3$, а типичните стойности за областта са около $5\mu\text{g}/\text{m}^3$. В 11:00 часа средните стойности в цялата област намаляват и клонят към нулата, влиянието на почти всички източници също намалява, като само София и някои от ТЕЦ-овете оставят леки следи от по-високи стойности върху картата, това не е никак странно имайки в предвид, че по това време на деня е най-активното формиране на озон. По-голямата неустойчивост на атмосферата в обедните часове, която обуславя по-интензивен вертикален пренос, също води до намаляване на приземните концентрации от предимно наземните източници на NO_2 . В 17:00 приземните концентрации на NO_2 са най-високи, като над големите градове те достигат максимални стойности от $30\mu\text{g}/\text{m}^3$, като това най-вероятно е свързано с факта, че именно тогава е най-интензивен автомобилният транспорт (виж Глава III.). Стойностите над основната пътна мрежа са около $12\mu\text{g}/\text{m}^3$, а над предприятията и ТЕЦ-овете до около $20\mu\text{g}/\text{m}^3$. Типичните стойности за областта са

около $7\mu\text{g}/\text{m}^3$, а планините се открояват като места с нулеви стойности. В 23:00 часа типичните средни стойности за областта се запазват, като над планините те отново те са най-ниски. Влиянието на предприятията, ТЕЦ-овете и големите градове силно намаля и концентрациите им стават почти колкото тези на основната пътна мрежа които са около $10\text{--}15\mu\text{g}/\text{m}^3$. Отново се проявява ефектът на атмосферната стратификация – предимно устойчива през тази част на денонощието, което обуславя по-малко интензивен вертикален обмен и съответно по-голямо влияние на приземните и по-малко на високите източници върху приземните концентрации.



Фиг. II.1. Приземни годишно осреднени концентрации на NO_2 , SO_2 and O_3 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] в 05.00 и 17.00 GMT

Топло електрическите централи и големите градове са водещият фактор за високите абсолютни максимални осреднени за целият ансамбъл концентрации на NO_2 . Като в 05:00 часа се открояват само ТЕЦ-овете Марица Изток, София и доста обширни области около тях със стойности до около $70\mu\text{g}/\text{m}^3$, като средно за страната те са около $10\mu\text{g}/\text{m}^3$, а над планините клонят към нулата. В 11:00 часа максималните концентрации над областта леко нарастват, като над планините си остават нулеви, областите около ТЕЦ-овете Марица Изток и София намаляват, а също така и самите максимални концентрации намалят до около $60\mu\text{g}/\text{m}^3$. Именно тогава започват да се открояват и ТЕЦ-овете Варна и Бургас със стойности от около $30\mu\text{g}/\text{m}^3$. В 17:00 и 23:00 часа влиянието на всички ТЕЦ-ове е добре изразено, като то се разпростира на обширни територии около тях и най-вече това на Марица Изток и София, чиито стойности са около $90\mu\text{g}/\text{m}^3$.

От полетата за средните годишни приземни концентрации на NO_2 и нормите за ПДК, може да се заключи, че СГН се превишава в 17:00 часа само в София, а СЧН не се превишава.

От картите на средно годишните приземни концентрации на озон (O_3) се вижда, че по всяко време на денонощието неговите минимални стойности са $30 - 50 \mu g/m^3$. Едно интересно нещо, което се забелязва на картите, е че местата, които се явяват като консуматори на озон са именно местата, на които са високи средните стойности на NO_2 , като големите градове, основната пътна мрежа, някои промишлени предприятия и топло електрически централи.

Освен това над морето средните стойности са доста високи около $75 \mu g/m^3$, дължащо се най-вероятно на липсата на естествени консуматори на озон какъвто е NO_2 , както и на обстоятелството, че озонът не се поглъща от водни повърхности. По планините и най-вече по високите им части, той е с максимални или близки до максималните средни стойности около $85 \mu g/m^3$. Това най-вероятно се дължи на факта че това са места, които са далеч от източници на NO_2 , които са основни консуматори на озон.

На тези карти също така се вижда, че в 05:00 часа стойностите му са най-ниските, като типичните концентрации за района са около $75 \mu g/m^3$. Добре се открояват големите градове, някои предприятия и ТЕЦ-ове с концентрации около $40 \mu g/m^3$, също така пътната мрежа със стойности около $60 \mu g/m^3$, а високите части на планините Рила, Пирин, Родопите и Стара планина са със стойности до около $85 \mu g/m^3$. В 17:00 часа е почти както в 05:00 часа, както концентрациите над основната пътна мрежа нарастват и се изравняват с типичните за страната и почти навсякъде стават около $70 \mu g/m^3$, а големите градове, някои предприятия и ТЕЦ-ове се открояват със същите концентрации от около $40 \mu g/m^3$. Стойностите над високите части на планините се запазват около $85 \mu g/m^3$, като в останалите техни части и над морето те нарастват и стават около $80 \mu g/m^3$. В 23:00 часа е почти същото както в 05:00 и 17:00 часа, като почти навсякъде средните стойности се изравняват и стават около $70 \mu g/m^3$, като само района на София се откроява, като място с по-ниски стойности от около $50 \mu g/m^3$.

За високите части на планините и над морето концентрациите си остават същите около $80 - 85 \mu g/m^3$. В 11:00 часа приземните концентрации на O_3 са най-високи, като почти навсякъде те са около $80 \mu g/m^3$, като над планините те са до около $90 \mu g/m^3$, а само над ТЕЦ-овете София, Варна, Бургас и Марица Изток те са около $70 \mu g/m^3$. Доказателство за изказаното по-горе твърдение, че в 11:00 часа ниските приземни годишно осреднени концентрации на NO_2 най-вероятно се дължат на активното формиране на озон се потвърждава точно на тези карти в 11:00 часа за средните концентрации на озона. Защото именно тогава се наблюдават високите средни стойности на O_3 .

Абсолютните максимални осреднени за целият ансамбъл годишни приземни концентрации на озон (O_3) са максимални само по планините и са около $115 \mu g/m^3$, като в 05:00 часа над останалата част от областта те са около $100 \mu g/m^3$. В 11:00 часа максималните концентрации в областта са най-високи и са около $110 \mu g/m^3$, като те са по-високи в северозападна България около $115 \mu g/m^3$, като над София и ТЕЦ Марица Изток те са около $120 \mu g/m^3$. Също така покрай морския бряг максималните концентрации са доста високи и са около $120 \mu g/m^3$. В 17:00 часа стойностите на максималните концентрации навсякъде намаляват. София и някои предприятия се открояват като места с най-ниски стойности около $100 \mu g/m^3$, а районите около някои от тях като места с по-високи от средните за страната, това най-вероятно се дължи на времето за реакция на фотохимичните процеси и метеорологичните условия. Отново тогава покрай морския бряг максималните концентрации са по-високи от типичните за страната, като за района на Варна те са най-високи и са около $130 \mu g/m^3$. В 23:00 часа стойностите още намаляват навсякъде, и докато по крайбрежието и над планините те са около $115 \mu g/m^3$, то над останалата част от страната те са около $100 \mu g/m^3$.

От разгледаните полета за средните концентрации на O_3 и нормите за ПДК може да се заключи, че средностатистически няма места на които тя да се превишава

На картите за изопрен (ISOP) се вижда, че през цялото време най-ниските стойности са над планините, северозападната част на Дунавската равнина и най-вече през нощта. В останалата част от страната стойностите са по-високи около $0,4 \mu g/m^3$, най-вече в Дунавската равнина, като в 05:00 часа най-високите концентрации именно там и са около $0,6 \mu g/m^3$. В 11:00 часа стойностите нарастват навсякъде с изключение по планините, като на места в южната част на Дунавската равнина те стават около $0,9 \mu g/m^3$. В 17:00 часа концентрациите на изопрен още нарастват и се обособяват загледи зони в северна България с високи стойности около $0,8 \mu g/m^3$. В 23:00 часа концентрациите на изопрен в цялата област са много малки почти нулеви, което най-вероятно е свързано с липсата на

производство му от растенията и производството на озон.

Абсолютните максимални осреднени за целият ансамбъл годишни приземни концентрации на изопрена са най-ниските стойности за по високите части на планините, северозападната част на Дунавската равнина и най-вече през нощта. В 05:00 и 11:00 часа стойностите са най-високи и са около $8\text{--}9\mu\text{g}/\text{m}^3$ на отделни но и обширни зони в Дунавската равнина, а в останалата част от страната те са около $3\mu\text{g}/\text{m}^3$. В 17:00 часа е времето, когато максималните концентрации са най-високи, като над почти цяла северна и на места в западна България стойностите са най-високи и са около $10\mu\text{g}/\text{m}^3$, а над планините те са най-ниски и достигат до $1\mu\text{g}/\text{m}^3$. В 23:00 часа концентрациите са най-ниски и над почти цялата област те клонят към нулата, като само на отделни места се забелязват леко по-високи стойности от около $1\mu\text{g}/\text{m}^3$, които най-вероятно се дължат на високите му стойности от по-предните часове, метеорологичните условия, а също така и на ниските стойности на NO_2 , който спира образуването на озон и съответно консумацията на изопрен.

На картите за средните приземни концентрации на серен диоксид добре се открояват местоположенията и областите на влиянието на ТЕЦ-овете, като цяло над планините, а също така и в северна България концентрациите са най-ниски и са около $5\mu\text{g}/\text{m}^3$. Избран е точно този обхват на скалата, а не стойностите на п.д.к., за да може да се илюстрират местоположението и на какво разстояние може да се усети влиянието на източниците на SO_2 . В 05:00 и 17:00 часа местоположение на всички ТЕЦ-ове се вижда добре, като над тези зони средните концентрации са около $70\mu\text{g}/\text{m}^3$, с изключение на комплекса Марица Изток където стойностите са максимални и са над $125\mu\text{g}/\text{m}^3$. В 11:00 часа се виждат само два от ТЕЦ-овете, първият е ТЕЦ Бобов дол със стойности около $50\mu\text{g}/\text{m}^3$, чийто емисии на SO_2 се разпростират по почти цялото дефиле на река Струма. Вторият е комплексът Марица Изток със стойности над $100\mu\text{g}/\text{m}^3$, като концентрациите над останалата част от страната са почти около нулата. В 23:00 часа е почти както в 11:00 часа отново се виждат само двата ТЕЦ-а, но концентрациите от ТЕЦ Марица Изток са почти колкото тези от ТЕЦ Бобов дол около $50\mu\text{g}/\text{m}^3$, като тогава емисиите на SO_2 от тези два ТЕЦ-а се разпростират над почти цяла южна България, с изключение над планините в нея.

Топло електрическите централи най-вече ТЕЦ Бобовдол и комплекса Марица Изток, чиито емисии се разпространяват над почти цяла източна България и са водещият фактор за високите абсолютни максимални осреднени за целият ансамбъл концентрации на серният диоксид (SO_2).

От разгледаните полета за средните концентрации на SO_2 и нормите за ПДК може да се заключи, че места на които СДН може да се превиши са само под комините на ТЕЦ Марица Изток.

От разгледаните полета за максималните концентрации на SO_2 и нормите за ПДК може да се заключи, че местата на които СЧН може да се превиши са над и около ТЕЦ Бобовдол и

На картите за средните приземни концентрации на амоняк/ амония (NH_3) добре се открояват местоположенията и областите на влиянието на местата свързани с неговото производство, като места с максимални или завишени средни стойности, а планините и ТЕЦ-овете като места с почти нулеви концентрации. В 05:00 и 17:00 часа в България най-високите концентрации над $2,5\mu\text{g}/\text{m}^3$ са около местата свързани с неговото производство, а именно Враца, Девня, Стара Загора и Димитровград. Най-ниските концентрации са над планините и над ТЕЦ-овете в София, Перник и Марица Изток, което е свързано с процеса на десулфуризация, като средно за страната те са около $1\mu\text{g}/\text{m}^3$. В 11:00 часа концентрациите са най-ниски и само Димитровград, Стара Загора и Враца се открояват, като места с леко по-високи концентрации около $1,5\mu\text{g}/\text{m}^3$, докато над останалата част от областта те са около $0,5\mu\text{g}/\text{m}^3$. В 23:00 часа е почти както в 11:00 часа, но почти над цяла България концентрациите са по-високи и са около $1\mu\text{g}/\text{m}^3$, само София се откроява с леко по-високи стойности от около $1,5\mu\text{g}/\text{m}^3$, а концентрациите са най-ниски само по планините.

Водещият фактор за високите абсолютни максимални осреднени за целият ансамбъл концентрации на амоняк/ амония (от над $20\mu\text{g}/\text{m}^3$) са предприятията свързани с неговото производство. За България това са само Враца, Стара Загора и Димитровград, а за Румъния Слобозия, Турну Мъгуреле и Крайова. Типичните максимални концентрации за областта са около $4\mu\text{g}/\text{m}^3$, а над планините клонят към нула.

От разгледаните полета за средните и максималните концентрации на NH_3 и нормите за ПДК може да се заключи, че няма места на които тя да се превишава в смисъл на средно по ансамбъла.

Полетата на средните приземни концентрации на амоний/ амониум, доста наподобяват тези за

амоният, като при него ТЕЦ-овете вече не се явяват като места, където той е с минимални средни стойности, а като места в които той се образува и е с максимални средни стойности.

Водещият фактор за високите абсолютни максимални осреднени за целият ансамбъл концентрации на амоний/ амониум (PNH_4) са предприятията свързани с неговото производство, като за България това са София, Враца, Девня, Стара Загора и Димитровград. Високите стойности над Румъния и северна България най-вероятно се дължат на източниците в Девня, Букурещ, Турну Мъгуреле, Крайова и Слобозия. Максималните годишни приземни концентрации на PNH_4 остават най-ниски единствено над планините, като места с най-високи максимални концентрации.

Прахът е основен атмосферен замърсител на въздуха. Вредният му здравен ефект зависи главно от размера и химичния състав на суспендираните прахови частици, от адсорбираните на повърхността им други химични съединения, в това число мутагени, ДНК - модулатори и др., както и от участъка на респираторната система, в която те се отлагат. Основни източници на прах са промишлеността, транспорта и енергетиката.

Влиянието им върху човешкото здраве се изразява, когато прахът постъпва в организма предимно чрез дихателната система, при което по-едрият частици се задържат в горните дихателни пътища, а по-фините частици (под $10\text{ }\mu\text{m}$ - ПЧ10) достигат до по-ниските отдели на дихателната система, като водят до увреждане на тъканите в белия дроб. Деца, възрастни и хора с хронични белодробни заболявания, грип или астма са особено чувствителни към високи стойности на ПЧ10.

Наред с това се различават и ПЧ2.5 (фини прахови частици), които са с размери по $2.5\text{ }\mu\text{m}$. Частиците с размери между 10 и $2.5\text{ }\mu\text{m}$ в настоящия труд са наречени едри прахови частици (CPRM).

Вредният ефект на замърсяването с прах е по-силно изразен при едновременно присъствие на серен диоксид в атмосферния въздух. Установено е тяхното синергично действие по отношение на дихателните органи и откритите лигавици. То се проявява с дразнещо действие и зависи от продължителността на експозицията. Кратковременната експозиция на $500\mu\text{g}/\text{m}^3$ прах и серен диоксид увеличава общата смъртност при населението, а при концентрации наполовина по-ниски се наблюдава повишаване на заболяемостта и нарушаване на белодробната функция. Продължителната експозиция на серен диоксид и прах се проявява с повишаване на неспецифичните белодробни заболявания, предимно респираторни инфекции на горните дихателни пътища и бронхитни - при значително по-ниски концентрации от ($30 - 150\mu\text{g}/\text{m}^3$), което е особено силно проявено при деца. Най-уязвими на комбинираното въздействие на праха и серния диоксид са хронично болните от бронхиална астма и от сърдечносъдови заболявания.

С Наредба № 9 (ДВ, бр. 46/1999 г.), (изм. и доп. ДВ, бр. 86/2005 г.) са приети норми за пределно допустими концентрации (ПДК) за фини прахови частици. Въведените ПДК целят предпазване от техния вреден ефект върху здравето на хората и околната среда. Регламентирани са следните ПДК за фини прахови частици:

От полетата на средните приземни концентрации на едрите прахови частици (CPRM) се вижда, че типичните за страната концентрации са около $1\mu\text{g}/\text{m}^3$, като през цялото денонощие те са най-ниски над планините. В 05:00 и 17:00 часа местата с максимални средни концентрации от $5\mu\text{g}/\text{m}^3$, са над някои от техните основни източници най-вече над ТЕЦ-овете Марица Изток, София, Перник и Бобов дол. Другият основен източник на CPRM са предприятия, които също се открояват на картите за тези два часа със стойности от около $2,5\mu\text{g}/\text{m}^3$. Средните концентрации в 11:00 часа са най-ниски около $0,5\mu\text{g}/\text{m}^3$, като максимални концентрации се наблюдават само над и около ТЕЦ-овете Марица Изток и София. В 23:00 типичните за страната концентрации са по-високи и се разпределят по-равномерно над цялата страна, като емисиите от ТЕЦ Марица Изток намаляват до около $3\mu\text{g}/\text{m}^3$, а тези от ТЕЦ София растат и покриват по-обширна територия. около източникът тях.

От разгледаните полета за средните концентрации на CPRM и нормите за ПДК може да се заключи, че места на които тя може да се превиши са над ТЕЦ София, ТЕЦ Перник, ТЕЦ Бобов дол и ТЕЦ Марица Изток.

Водещият фактор за високите абсолютни максимални осреднени за целият ансамбъл концентрации на едрите прахови частици (CPRM) са само около някои от техните източници, а това са ТЕЦ-овете - София, Перник, Варна, Бобов дол и Марица Изток. Планините Рила, Пирин и Родопи се открояват през цялото денонощие, като места с най-ниски максимални стойности.

От полетата на средните приземни концентрации на фините прахови частици (FPRM, или

ПЧ2.5) се вижда, че типичните за страната концентрации са около $0,5\mu\text{g}/\text{m}^3$, като през цялото денонощие те са най-ниски над планините. В 05:00 и 17:00 часа местата с максимални средни концентрации от $5\mu\text{g}/\text{m}^3$, са над някои от техните основни източници най-вече над ТЕЦ-овете Марица Изток и София. Другите ТЕЦ-ове и предприятия също се открояват на картите за тези два часа със стойности от около $2,5\mu\text{g}/\text{m}^3$. Средните концентрации в 11:00 часа са най-ниски под $0,5\mu\text{g}/\text{m}^3$, като се открояват само ТЕЦ-овете Марица Изток, Бобов дол и София със стойности от около $2\mu\text{g}/\text{m}^3$. В 23:00 типичните за страната концентрации са по-високи около $1\mu\text{g}/\text{m}^3$ и се разпределят по-равномерно над цялата страна, като емисиите от ТЕЦ Марица Изток и ТЕЦ София покриват по-обширна територия. около източникът тях.

Водещият фактор за високите абсолютни максимални осреднени за целият ансамбъл концентрации на фините прахови частици (FPRM са само около ТЕЦ Марица Изток. ТЕЦ-овете София и Бобов дол също се открояват на картите за максималните годишни концентрации на FPRM, но с по-ниски стойности от около $15\mu\text{g}/\text{m}^3$. Планините Рила, Пирин и Родопи се открояват през цялото денонощие, като места с най-ниски максимални стойности.

От разгледаните полета за средните концентрации на FPRM и нормите за ПДК може да се заключи, че места на които тя може да се превиши са над ТЕЦ София, ТЕЦ Перник, ТЕЦ Бобов дол и ТЕЦ Марица Изток.

Статистически характеристики на приземните концентрации на различни замърсители за територията на България и за отделни точки.

Показаните по-горе средногодишни и максимални концентрации на някои съединения не изчерпват информацията, която може да бъде извлечена от компютърно симулирания осем годишен ансамбъл. Той е достатъчно голям и изчерпателен за да позволява разнообразни статистически обработки.

В параграфи П.3.1- П.3.4 от дисертацията са представени графики, които нагледно и лесно разбираемо показват основни ансамблови характеристики на замърсяването. На всички графики са изобразени следните сезонни и годишни характеристики за различни замърсители, осреднени за страната или в отделни нейни точки: средни, минимални и максимални по ансамбъл концентрации, както и кривите, обозначени с 10%, 25%, 75%, 90%. Последните криви изобразяват тези мислени концентрации, за които в съответно 10%, 25%, 75%, 90% от случаите са били симулирани по-ниски концентрации.

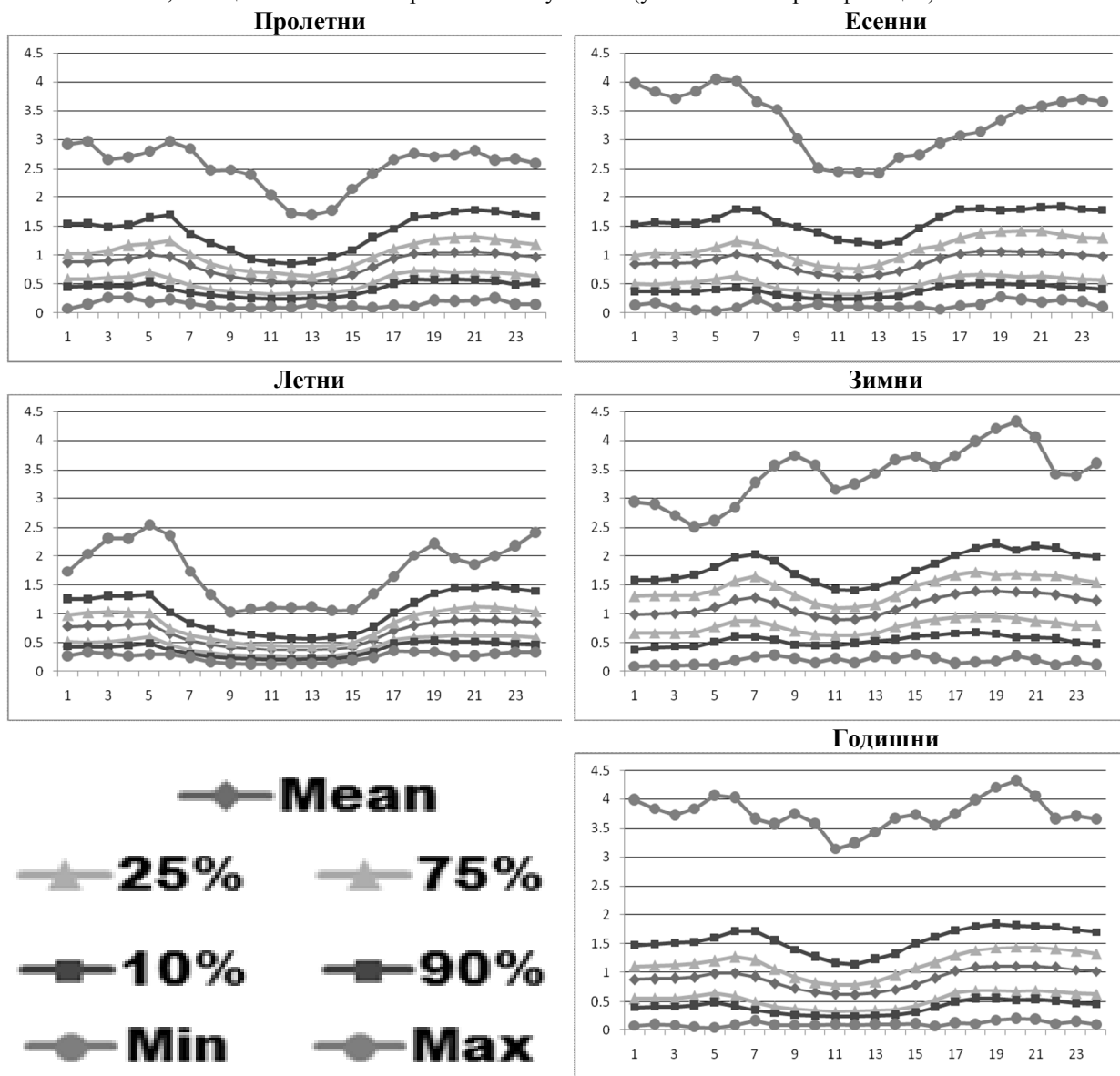
По този начин в ивицата 25%-75% попадат 50% от случаите, а в ивицата 10%-90% - 80% от случаите.

Така, показаните в дисертацията криви дават достатъчно добра представа за статистическите характеристики на ансамбъла – средни, дисперсия, асиметрия, ексцес, без последните три характеристики да бъдат показани явно. Тези криви ще бъдат накратко коментирани тук, като ще бъде демонстриран един пример - **Фиг. П.2.**

От графиките за годишно и по сезонно осреднените концентрации на озон (O_3) за България се вижда, че средните концентрации са с добре изразени денонощен и сезонен ход, като също така те имат и добре изразен максимум през деня, който е свързан с ниските стойности на NO_2 и ускорените фотохимични реакции през този интервал на денонощието. Освен това средните концентрации се разпределят в отрязъка съдържащ 50% случаи. Средните концентрации са доста симетрично разположени не само в различните отрязъци от броя случаи, но също така и спрямо абсолютните минимални и максимални концентрации през различните сезони. Също така средните и абсолютните максимални концентрации на озон са най-високи през пролетта и лятото, което се дължи усиленото влияние фотохимичните трансформации и на метеорологичните (неустойчивата стратификация и съответно спускането от височина на озон към приземния слой).

От графиките за годишно и по сезонно осреднените концентрации на NO_2 , NH_3 , SO_2 , CPRM, и FPRM за България се вижда, че всички концентрации имат добре изразени денонощен и сезонен ход, като денонощният им ход има два добре изразени максимума един рано сутрин и един късно следобед. Освен това средните концентрации се разпределят в отрязъка съдържащ 50% случаи, като те най-вече следват 75% крива. Също така средните концентрации са асиметрично разположени спрямо ивиците, съдържащи различен брой случаи, и то не само през различните части на

денонощието, но също така и през различните сезони. Абсолютните максимуми за NO_2 са най-високи през есента, докато за NH_3 се вижда, че комбинацията от пролетният и есенният максимум определят годишният. За SO_2 , CPRM , и FPRM (Фиг. II.2.) абсолютните им максимуми са най-високи през зимата, което не е странно имайки предвид, че именно тогава са най-големите емисии от енергетиката и отоплението, а също така и от метеорологичните условия (устойчивата стратификация).



Фиг. II.2. Някои статистически характеристики на осреднените приземни концентрации на Фини Прахови Частици (FPRM) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ за България

Изследването на замърсяването на въздуха за град София е от голямо значение, не само поради факта, че тук е столицата на страната и е съсредоточена голяма част от населението на страната (1291591 души спрямо преброяване 2011, което представлява 16,4% от населението на България), но също така тя се явява в голяма степен туристически и производствен център, а също така и мястото с най-интензивен автомобилен транспорт. Днес София е най-големият промишлен център на България, като има около 800 големи предприятия. Именно тук са съсредоточени 75% от черната металургия, 50% от полиграфическата, 15% от електротехническата и електронната промишленост, 14% от кожухарската и обувната промишленост на страната. Произвежда се химическа, текстилна и хранително-вкусова продукция. Площта на София е 492 km^2 и се разполага от части в Софийската котловина и Витоша, като климатът и е умерено континентален. На юг тя е заобиколена от планините

Витоша, на запад Люлин и на север Стара планина.

Проблем за замърсяването на въздуха на София е нейното разположение в Софийската котловина, която е заобиколена с планини и които намаляват възможността за самопочистване на атмосферата. Въздухът в столицата се замърсява предимно от фини прахови частици и азотните оксиди. След спирането на работа на "Кремиковци", те се генерират основно от автомобилния транспорт, отоплението с твърди и течни горива, замърсените пътни настилки и някои ТЕЦ-ове. Така столичните квартали Дружба, Надежда и Павлово са с най-замърсен въздух, като за първите два освен автомобилния транспорт, важен фактор за мръсния въздух са големите ТЕЦ-ове там.

От графиките за годишно и по сезонно осреднените концентрации на озон (O_3) за София се вижда, че средните концентрации са с добре изразени денонощен и сезонен ход, като също така те имат и добре изразен максимум през деня, който е свързан с ниските стойности на NO_2 и ускорените фотохимични реакции през този интервал на денонощието. Освен това се вижда, че средните концентрации се разпределят в отрязъка съдържащ 50% случаи. Те са симетрично разположени не само в различните отрязъци от броя случаи, но също така и спрямо абсолютните минимални и максимални концентрации през различните сезони. Като се вижда средните и абсолютните максимални концентрации на озон са най-високи през лятото, което се дължи усиленото влияние фотохимичните трансформации и на метеорологичните условия (неустойчивата стратификация и съответно спускането от височина на стратосферен озон).

От графиките за годишно и по сезонно осреднените концентрации на NO_2 , NH_3 , SO_2 , CPRM, и FPRM за София се вижда, че за всички средните им концентрации имат добре изразени денонощен и сезонен ход, като денонощният им ход има два добре изразени максимума един рано сутрин и един късно следобед. Освен това се вижда, че средните концентрации се разпределят в отрязъка съдържащ 50% случаи, като те най-вече следват 75% крива. Също така асиметричността на разпределението и то не само през различните части на денонощието, но също така и през различните сезони. На графиките също така се вижда, че абсолютните максимуми за NO_2 са най-високи през есента и зимата, докато за NH_3 се вижда, есенният максимум определя годишният. За SO_2 , CPRM, и FPRM се вижда, че техните абсолютни максимуми са най-високи през зимата, което не е странно имайки в предвид, че именно тогава е най-голямо производството на емисиите от енергетиката и отоплението, а също така и метеорологичните условия (устойчивата стратификация).

Изследването на замърсяването на въздуха за град Стара Загора е от голямо значение поради факта, че тук е един от икономическите центрове на България. С от население (138 272 души спрямо преброяване 2011, което го прави 6-ят по население град в България). В област Стара Загора се намира най-големият промишлено енергиен комплекс ТЕЦ "Марица Изток" в България, който произвежда около 30% от електроенергията в България, а мини Марица Изток са най-големият производител и преработвател на въглища за страната около 83%. В момента „Марица Изток“ се модернизират, като се подменят остарелите инсталации, увеличава се капацитетът на произведената електроенергия и се изграждат пречиствателни мощности, които да редуцират до минимум вредните емисии, изхвърляни в атмосферата. Редом с енергетиката леката и хранително-вкусовата промишленост са също добре застъпени в региона. Градът е разположен в източната част на Горнотракийската низина със средна надморска височина от 196 метра, като климатът е преходно континентален с полъх от Средиземно море. Проблемът със замърсяването на въздуха на Стара Загора е нейното близко разположение до комплексът Марица Изток, който се явява основен замърсител с фини прахови частици и серен диоксид, и то не само за района на града но също така и за целия Балкански полуостров.

Годишно и по сезонно осреднените концентрации на озон (O_3) за Стара Загора доста приличат на тези за София и България, като средните и абсолютните максимални концентрации са най-високи през пролетта, което се дължи най-вероятно на преносът му от други места.

Годишно и по сезонно осреднените концентрации на NO_2 за Стара Загора се вижда, че доста приличат на тези за София и България, като абсолютните максимуми за NO_2 са най-високи през зимата, което най-вероятно се дължи на високото производството на емисиите от енергетиката и отоплението, а също така и метеорологичните условия (устойчивата стратификация). Докато за NH_3 се вижда, че денонощният ход на средните и максималните концентрации е силно изменчив, като това най-добре проявява през есента и зимата, и най-вероятно се дължи на процесите десулфуризация

в ТЕЦ Марица Изток. При SO_2 абсолютни максимални концентрации са с два порядъка по-големи от средните и през всички сезони абсолютните максимални концентрации превишават ПДК за SO_2 . Едрите и фините прахови частици доста наподобяват тези за SO_2 , като средните концентрации са от 5 до 10 пъти по-малки от максималните. От разгледаните замърсители може да се заключи, че ТЕЦ Марица Изток е основният замърсител за района на Стара Загора.

Изследването на замърсяването на въздуха за Рожен е интересно, тъй като това е типично планинска точка, която се намира в централни Родопи с надморска височина 1745 метра, далече от всякакъв вид индустриални замърсители.

От графиките за годишно и по сезонно осреднените концентрации на озон (O_3) за Рожен се вижда, че те доста приличат на тези за София и България, като средните концентрации са най-високи през пролетта, докато абсолютните максимални концентрации са най-високи през зимата, което най-вероятно се дължи на пренос, евентуално на спускането на стратосферен озон и слабите му фотохимични трансформации през този сезон, което води до неговото натрупване.

Графиките за годишно и по сезонно осреднените концентрации на NO_2 , NH_3 , SO_2 , CPRM, и FPRM за Рожен доста наподобяват тези за Стара Загора, като се различават с по-ниски средни и максимални концентрации. Абсолютните максимуми за NO_2 са най-високи през зимата, което най-вероятно се дължи на преносът на емисиите от производството на електроенергия и отопление, а също така и метеорологичните условия (устойчивата стратификация), което води до неговото натрупване. Като това най-добре се вижда през есента и зимата, и най-вероятно се дължи на процесите десулфуризация в ТЕЦ Марица Изток. Абсолютни максимални концентрации на NH_3 и SO_2 , са на един порядък по-големи от средните, с изключение през пролетта и лятото при NH_3 . При едрите и фините прахови частици имат добре изразени денонощен и сезонен ход, като денонощният им ход има два добре изразени максимума един рано сутрин и един късно следобед. Освен това абсолютните максимуми за CPRM, и FPRM са най-високи през есента и зимата, което най-вероятно се дължи на преносът на емисиите от производството на електроенергия и отопление, а също така и метеорологичните условия (устойчивата стратификация), което води до неговото натрупване.

Индекси на замърсяване

Високите концентрации на озон могат да нанесат поражения на растенията, животните и на човешкото здраве. Всъщност когато се изследват ефектите от високите концентрации на озон, трябва да се взимат пред вид не самите концентрации на озона, а някои свързани величини. Следните четири величини са важни: (виж Amann et al., 1999, European Parliament, 2002):

AOT40C стойности (Accumulated Over Threshold) – акумулирано количество над граница от 40 ppb в часовете на деня през периода от 1 май до 31 юли), което е вредно за посевите когато стойностите надхвърлят 3000 ppb.ч.

AOT40F стойности (AOT40 пресметнато за период от 1 април до 30 септември), което вреди на горите, когато стойностите са над 10000 ppb.ч.

NOD60 (Number Of Days – брой дни, в които 8 – часовите пълзящи средни на озона за всеки час на деня надхвърлят критична стойност от 60 ppb ($120 \mu\text{g m}^{-3}$)). Ако поне веднъж пред деня се надхвърли границата от 60 ppb, денят се отчита като “лош”. Хора с астматични болести имат проблеми в “лошите” дни, затова е желателно да няма такива дни. Премахването на всички такива дни е прекалено амбициозна задача. Изискването обикновено се свежда до максимум 25 “лоши” дни през периода април- септември. Оказва се че на много места е трудно да се изпълни дори и това изискване.

Това, което е общо за всички от симулираните полета на горните три характеристики за годините 2000-2007 е голямата разлика в конфигурацията на полетата през различните години, което е очевидно отражение на влиянието на метеорологичните условия.

В полетата на AOT40C за всички години най-високите стойности са главно в планинските райони. Областите, където са надвишени праговите стойности от 3000 ppb.ч са сравнително малки, освен в години 2000 и донякъде 2003.

В полетата на AOT40 F областите, където са надвишени праговите стойности от 10000 ppb.ч са малки през всички години.

От полетата на NOD60 за повечето години в по-голямата част на страната стойностите на NOD60 не надхвърлят 10 дни. Съществени превишения на стойностите на NOD60 над 20-25 дни в годината се наблюдават през 2000, 2003 и особено през 2007 година, когато и районите с превишения над 20 дни са доста обширни.

ГЛАВА III ОЦЕНКА НА ПРИНОСА НА ЕМИСИИТЕ ОТ ОТДЕЛНИ КАТЕГОРИИ ИЗТОЧНИЦИ (SNAP КАТЕГОРИИ) КЪМ ОБЩАТА КАРТИНА НА ЗАМЪРСЯВАНЕ В СТРАНАТА

Замърсяването на въздуха силно зависи от емисиите на примеси. Ето защо изследването на приноса на емисиите от отделни категории източници (SNAP категории) към общата картина на замърсяване в страната е очевидно задача с голямо практическо значение, чиито резултати могат да бъдат пряко използвани при формулирането на краткосрочни (текущи) решения и дългосрочни стратегии за намаляване на замърсяването на въздуха.

Резултатите в настоящата глава са получени на основата на петте емисионни сценария (всеки един за годините 2000-2007):

Изборът на тези сценарии не е случаен. Източниците от SNAP категория 1 (енергетика) имат най-голям дял в сумарните за страната емисии на SO_x, а тези от SNAP категория 7 (пътен транспорт) в сумарните за страната емисии на NO_x. Източниците от SNAP категория 2 (не индустриални изгаряния) имат относително малък дял в сумарните за страната емисии на повечето замърсители с изключение на CO, но както ще се види по-долу локално (в големите градове) техният принос може да бъде значителен.

Биогенните източници са значителен емитер на ЛОС, които са важен озонов прекурсор.

Всички оценки, които ще бъдат представени по-долу се отнасят до приземните концентрации.

В параграф III.2. на дисертацията са представени някои осреднени по ансамбъл приноси на източници от споменатите по-горе категории към замърсяването на територията на България. В III.3. са представени съответните оценки, осреднените за територията на България и за отделни нейни точки. Тук тези резултати ще бъдат накратко описани.

Полета на ансамбловото осреднените приноси на отделните категории източници към приземните концентрации

Годишни полетата на средните относителни приноси на емисиите от SNAP_01, SNAP_02, SNAP_07 и биогенните емисии водещи до образуването на азотен диоксид (NO₂): Приносът на всички Български източници е изцяло положителен, като приносът от енергетиката е около 50%, но само покрай самите ТЕЦ-ове докато над останалата част от страната се мени между 0 и 10%.

Приносът на източниците от не индустриалното изгаряне е най-малък в сравнение с останалите източници, разпределен е почти равномерно над цялата страна и средно той е около 2%, като само София се откроява с леко по-висок принос от около 5%.

Приносът на източниците от автомобилният транспорт е най-голям, сравнен с останалите източници и е разпределен равномерно над цялата страна. При него през цялото денонощие се открояват някои от пътните артерии в страната и град София, като места с по-високи приноси от типичните за страната в съответният час. Средният принос е около 30%, като в 17:00 часа той е най-голям, а над София и пътната мрежа той става над 70%.

Приносът на биогенните емисии средно за страната е около 20%, като през цялото денонощие той е най-нисък над морският бряг, а над планините и София през деня той става дори нулев. Освен това през нощта приносът на биогенните емисии е по-голям от колкото през деня, което най-вероятно е в следствие на липсата на фотохимични трансформации на NO₂ и превръщането му в O₃ през нощта.

Годишни полетата на средните относителни приноси на емисиите от SNAP_01, SNAP_02, SNAP_07 и биогенните емисии водещи до образуването на озон (O₃): Приносът от енергетиката над цялата страна е малък и е предимно отрицателен около -5%, и то не само над ТЕЦ-ове но и на доста голямо разстояние около тях. Над останалата част от страната той е между 0 и -1%, като само през деня над планините той е положителен но много малък до около 0,5%.

Приносът на източниците от не индустриалното изгаряне също е малък и е разпределен почти равномерно над цялата страна. През нощта средно той е около -05%, като само София се откроява с

леко по-висок отрицателен принос около -1%. В 11:00 часа над почти цялата страна той е положителен и е около 0,5% с изключение на София където е леко отрицателен дори нулев. В 17:00 часа приносът на източниците от SNAP_02 за образуването на озон в България е най-силно отрицателен над София около -3%, докато над останалата част от страната той е различен и се мени в интервала от -0,5% до 0,5%

Приносът на източниците от автомобилният транспорт е по-голям, сравнен с източниците от SNAP_01 и SNAP_02. През цялото денонощие почти навсякъде той е отрицателен около -2% с изключение на планините, където е положителен и е около 1%. Освен това се открояват пътните артерии в страната и град София, като места с най-големи отрицателни приноси от около -10%. В 11:00 часа приносът над планините достига до 2%, като средно за страната той става леко отрицателен и почти нулев, а само София се откроява като място с най-голям отрицателен принос от -5%. В 17:00 часа отрицателният приносът от автомобилният транспорт в страната е най-голям, като София и цялата пътна мрежа силно се открояват с приноси от над -10%.

Приносът на биогенните емисии е най-голям и почти изцяло положителен с изключение на първите часове от денонощието когато той е леко отрицателен. В 05:00 часа приносът над цялата страна е отрицателен около -2%, с изключение над Витоша, Пирин, Рила, Родопите и Стара планина, където той е около 1%. В 11:00 приносът в цялата област е положителен около 3%, като над горе посочените планини е по-малък и е около 1%. В 17:00 часа е обратното над планините той става 3%, а над останалата част от областта около 1%. В 23:00 приносът над страната е положителен и най-висок над планините, като по поречието на река Марица и в северната част на областта той е отрицателен и е около -2%.

Годишни полетата на средните относителни приноси на емисиите от SNAP_01, SNAP_02, SNAP_07 и биогенните емисии водещи до образуването на серен диоксид (SO₂): Приносът на всички Български източници е изцяло положителен, като приносът от енергетиката достига 100% но само покрай самите ТЕЦ-ове, като над южната част от страната е около 40%, с изключение на планините, където е около 20%, а над северната част от страната средният принос е около 20%.

Приносът на източниците от не индустриалното изгаряне е по-малък в сравнение с източниците от енергетиката, като почти през цялото денонощие е разпределен равномерно над цялата страна и средно е около 10%, като в 17:00 часа над цялата страна и над София през цялото денонощие той е леко по-висок около 20%.

Приносът на източниците от автомобилният транспорт е равномерно разпределен над цялата страна и е около 2%, като отново през деня само София се леко се откроява с по-висок принос от около 4%. В 17:00 часа приносът на SNAP_07 нараства, като за югозападната част от страната той е около 4%, а над останалата е около 6%.

Приносът на биогенните емисии е най-малък, като средно за страната през цялото денонощие е под 1%, като в 11:00 часа той нараства и е най-голям в северна България около 2%.

Годишни полетата на средните относителни приноси на емисиите от SNAP_01, SNAP_02, SNAP_07 и биогенните емисии водещи до образуването на изопрен (ISOP): Приносът на източниците от енергетиката през цялото денонощие е почти нулев над планините и северна България, докато над останалата част от страната е около 5%. Единствените места които се открояват със значително по-голям принос от около 15% са Бургас в 05:00 часа и Стара Загора в 11:00 часа.

Приносът на източниците от не индустриалното изгаряне е най-малък в сравнение с останалите източници. Разпределението му е почти равномерно над цялата страна, като през нощта приносът на източниците от не индустриалното изгаряне е по-голям отколкото през деня. Също така на картите се вижда, че през цялото денонощие над планините той се запазва и е около 1%.

При приносът на източниците от автомобилният транспорт през цялото денонощие добре изпъкват София и морския бряг с по-високи приноси от типичните за страната в дадения час. В 05:00 часа той е най-голям около 50% и е равномерно разпределен над цялата страна. В 11:00 часа приносът е предимно отрицателен, като той бива положителен над северозападната част от Дунавската равнина и Горнотракийската низина. В 17:00 часа той отново е положителен около 15% и равномерно разпределен над цялата страната. В 23:00 часа приносът на места нараства и средно за страната е около 30%, като в източна България става около 70%, а в централна намаля и става около -10%.

Приносът на биогенните емисии е най-голям и равномерно разпределен, като над Рила, Пирин и София е по-малък в сравнение с приноса над останалата част от областта. През нощта той е по-малък около 50%, в сравнение през деня когато той е около 90-100%.

Годишни полетата на средните относителни приноси на емисиите от SNAP_01, SNAP_02, SNAP_07 и биогенните емисии водещи до образуването на амоняк/ амония (NH_3): Приносът на антропогенните източници в България е изцяло отрицателен, като само приносът на биогенните емисии е положителен. Приносът на емисиите от енергетиката е около -50% но само покрай самите ТЕЦ-ове, и постепенно отслабващ с отдалечаването им от тях. За планините и северозападна България той е между -10% и 0%. Приносът на източниците от не индустриалното изгаряне е най-малък в сравнение с останалите източници, разпределен е почти равномерно над цялата страна и около -10%, като само над високите части на планините и в отделни часове северна и/или източна България се открояват с по-малък принос от около -3%. Източниците от автомобилният транспорт почти през цялото денонощие е отрицателен принос от -5 до -10%. Местата с положителен но близък до 0% принос са над морето и на места в долният ляв квадрант на областта. Приносът на биогенните емисии е с добре изразен денонощен ход и е изцяло положителен по планините. През нощта над почти цялата област той е около -5%, докато през деня в 11:00 часа е най-голям и е около 5% над цялата област, а в 17:00 часа той намалява, като става отново отрицателен северна и източна България.

Годишни полетата на средните относителни приноси на емисиите от SNAP_01, SNAP_02, SNAP_07 и биогенните емисии водещи до образуването на амоний/ амоний (NH_4): Приносът на антропогенните източници в България е изцяло положителен, докато приносът на биогенните емисии варира през денонощието. Приносът на емисиите от енергетиката е около 20% но само покрай самите ТЕЦ-ове, и постепенно отслабващ с отдалечаването им от тях. За планините и северозападна България той е между 0% и 5%. Приносът на източниците от не индустриалното изгаряне е равномерно разпределен над почти цялата страна и е около 2%, като само високите части на планините той е нулев. Приносът е най-висок в 17:00 и 23:00 часа около 6%. И тук само София се откроява като място с най-висок принос от около 10%. Приносът на източниците от автомобилният транспорт през цялото денонощие е положителен, най-нисък над планините под 1% и най-висок в централна България от около 3% до 4%. Приносът на биогенните емисии е с добре изразен денонощен ход и е изцяло отрицателен по планините. През деня над почти цялата област той е около -1%, докато през нощта в 05:00 часа е най-голям и е около 2% в северната част на областта. В 23:00 часа в източна България приносът е положителен а в западна отрицателен.

Годишни полетата на средните относителни приноси на емисиите от SNAP_01, SNAP_02, SNAP_07 и биогенните емисии водещи до образуването на първични органични аерозоли (POA): Приносът на антропогенните източници от България е изцяло положителен. Приносът от енергетиката е около 20% но само над някои от ТЕЦ-овете (Бобов Дол, Варна и Марица Изток), като той е почти нулев над планините и в северна България. Приносът на източниците от не индустриалното изгаряне през цялото денонощие над цялата страна е еднакъв и е около 10%. Приносът на източниците от автомобилният е разпределен равномерно над цялата страна и варира през денонощието. Той бива най-голям в 17:00 около 4%, като тогава се открояват София и пътната мрежа с по-висок принос. Приносът на биогенните емисии е изцяло отрицателен и много малък до -0,1%, като хаотичното разпределение на максималните приноси показани на картите с червени точки се дължат най-вече от пресмятането на произведенията на много малки стойности.

Годишни полетата на средните относителни приноси на емисиите от SNAP_01, SNAP_02, SNAP_07 и биогенните емисии водещи до образуването на вторични органични антропогенни аерозоли (SOAA): Приносът от енергетиката е най-малък и изцяло отрицателен, като само над някои от ТЕЦ-овете (Бобов Дол, Варна и Марица Изток) той е около 3% докато над ТЕЦ-овете в Пловдив и Бобов дол той е около -4%. Приносът на източниците от не индустриалното изгаряне и биогенните емисии (фиг. III.2.8.2. и фиг. III.2.8.4) е изцяло положителен, почти равномерно разпределен по време и пространство и е най-голям от около 20% до 30%. Приносът на източниците от автомобилният транспорт през цялото денонощие е най-голям над планините от 3% до 5% и най-нисък в централна България. В 05:00 и 17:00 часа приносът в цялата страна е положителен, разпределен е почти равномерно и е най-голям около 2% докато приносът на автомобилният транспорт за страната в 11:00 и 23:00 часа е по-малък и е отрицателен в западна и централна България.

Годишни полетата на средните относителни приноси на емисиите от SNAP_01, SNAP_02, SNAP_07 и биогенните емисии водещи до образуването на вторични органични биогенни аерозоли (SOAB): Приносът от енергетиката е най-малък и изцяло положителен около 1%, като само над някои от ТЕЦ-овете (Бобов Дол, Варна и Марица Изток) той е около 4%. Приносът на източниците от не индустриалното изгаряне е положителен около 5% и почти равномерно разпределен, като над планините и през нощта е по-малък отколкото през деня и над останалата територия от страната. Приносът на източниците от автомобилният транспорт над София е отрицателен през цялото денонощие до -5% и е най-висок над планините и централна България. В 17:00 часа се наблюдава най-голям принос на автомобилният транспорт за страната, като на места в централна България той е около 5%. През почти цялото денонощие той има равномерно разпределение над цялата страна. Приносът на биогенните емисии е най-голям над 90% и почти равномерно разпределен, като той е най-нисък над високите части на планините и източна България.

Годишни полетата на средните относителни приноси на емисиите от SNAP_01, SNAP_02, SNAP_07 и биогенните емисии водещи до образуването на едри прахови частици (CPRM): Приносът на всички Български източници е изцяло положителен. Като приносът от енергетиката е над 50% но само покрай самите ТЕЦ-ове, а над останалата част от страната е около 20%. Приносът на източниците от не индустриалното изгаряне през цялото денонощие е разпределен равномерно над цялата страна и средно той е около 15%, като само София се откроява с леко по-нисък принос от около 10%. Приносът на източниците от автомобилният транспорт е разпределен равномерно над цялата страна но се мени през различните часове. Почти през цялото денонощие София се откроява с по-висок принос (до 20%) от типичния принос за страната, като в 17:00 часа приносът на всякъде е най-голям и дори могат да се видят части от основната пътна мрежа. Приносът на биогенните емисии е изцяло отрицателен и много малък до -0,1%, като хаотичното разпределение на максималните приноси показани на картите с червени точки се дължат най-вече от пресмятането на много малки произведения.

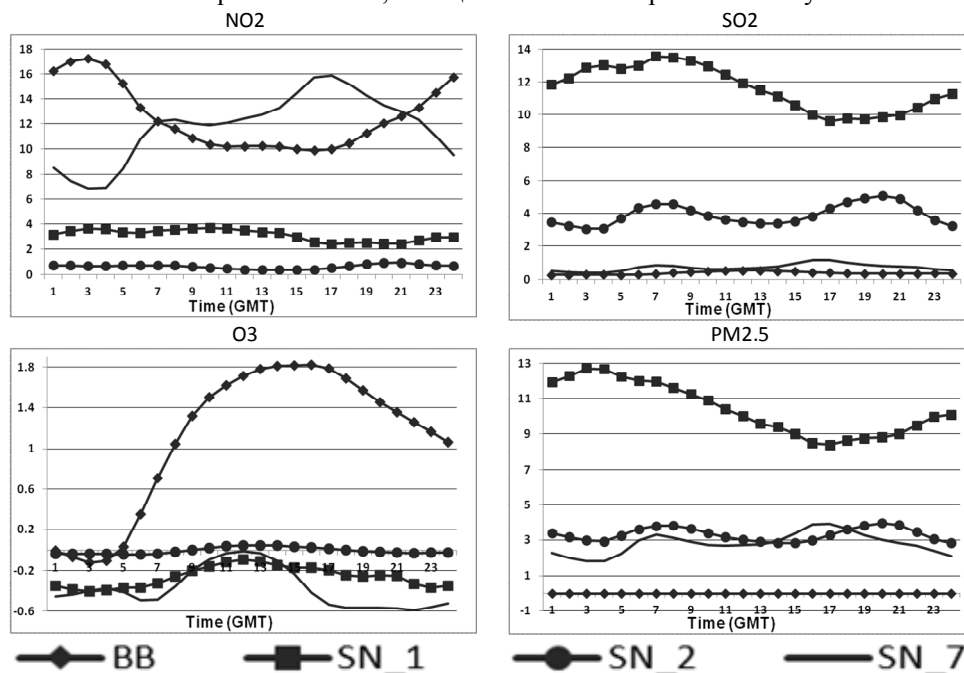
Годишни полетата на средните относителни приноси на емисиите от SNAP_01, SNAP_02, SNAP_07 и биогенните емисии водещи до образуването на фини прахови частици (FPRM): Приносът на всички Български източници е изцяло положителен. Приносът от енергетиката е над 50% но само покрай самите ТЕЦ-ове, като тяхното влияние се усеща над почти цялата територия на страната с принос от около 25%. Приносът на източниците от не индустриалното изгаряне през цялото денонощие е разпределен равномерно над цялата страна и средно той е около 8%, като само София се откроява с леко по-нисък принос от около 5%. Приносът на източниците от автомобилният транспорт е разпределен равномерно над цялата страна но се мени през различните часове. Почти през цялото денонощие София се откроява с по-висок принос (до над 20%) от типичния принос за страната, като в 17:00 часа приносът на всякъде е най-голям и дори могат да се видят части от основната пътна мрежа. Приносът на биогенните емисии е изцяло отрицателен и много малък до -0,1%, като хаотичното разпределение на максималните приноси показани на картите с червени точки се дължат най-вече от пресмятането на много малки произведения.

Оценки на годишно и сезонно осреднените приземни приноси (в %) на различните източници за територията на България и за отделни точки.

Резултатите за приземният относителен принос на различните източници осреднени по осем годишният ансамбъл получени чрез компютърно симулиране, могат да бъдат използвани за да се определят, както относителните приноси на отделните източници за определен замърсител за страната, но също така и за, която и да е точка от областта. Това би могло да бъде ценна информация на основа на която регулаторните органи да формулират някои дългосрочни или краткосрочни стратегии за намаляване на емисиите от които и да е източник, за да се предпази съответната област от превишаване на ПДК.

Оценки на годишно и по сезонно осреднените приземни приноси (в %) на емисиите от SNAP_01, SNAP_02, SNAP_07 и биогенните емисии водещи до образуването на различни замърсители осреднени за територията на България: Приземните относителни приноси на отделните източници водещи до образуването на азотен диоксид (NO_2) за България показват, че всички източници са с положителен принос и с добре изразени сезонен и денонощен ход, който е

различен за различните източници. Приносът на биогенните емисии е най-голям през нощта, като минимумът му е следобед, освен това приносът на биогенните емисии е най-голям през лятото и най-малък през зимата, което най-вероятно се дължи на фотохимичните процеси на трансформация на NO_2 . Разглеждайки приносът на източниците от SNAP_07 се вижда, че той е в противофаза с този на биогенните емисии, като лятото през деня двата приноса са почти равни и са по около 15%. Това не е странно като се знае, че азотния диоксид и летливите органични съединения са основните прекурсори на озона. Приносът на енергетиката е около четири пъти по-малък от този на горните два, като през зимата той нараства до около 5%, а през лятото е най-малък. Приносът на източниците от SNAP_02 е най-малък и клонящ към 0%, като само през зимата той нараства до около 2%. Повишеният принос на източниците от SNAP_01 и SNAP_02 през зимата най-вероятно е свързано с повишеното количество на емисиите през този сезон, а също така и с метеорологичните условия.



Фиг. III.1. Графики на “типичния” годишно осреднен денонощен ход на осреднените за територията на България приноси [%] на биогенните емисии и тези от SNAP_01, SNAP_02 и SNAP_07 водещи до образуването на NO_2 , SO_2 , O_3 и $\text{PM}_{2.5}$.

Приземните относителни приноси на отделните източници водещи до образуването на озон (O_3) за България показват, че всички източници са с добре изразени сезонен и денонощен ход, който е почти еднакъв за всички източници. През пролетта и есента се вижда, че приносът на биогенните емисии е основно положителен и е най-голям, като той е отрицателен само в началото на деня. Приносът на всички останали източници тогава е основно отрицателен с изключение на тези от SNAP_02 и на SNAP_07 през пролетта по обяд. През лятото приносът на биогенните емисии е изцяло положителен и е около пет пъти по-голям от приносът на всички останали, които достигат до 1% само по обяд. През зимата приносът на всички източници е най-малък, положителен принос около 0,05% имат само източниците от SNAP_02 по обяд, докато приносът на всички останали източници е изцяло отрицателен. Най-голям отрицателен принос имат източниците от SNAP_07 около -1,25%, а този на биогенните и от SNAP_01 е почти равен и е около -0,6%.

Приземните относителни приноси на отделните източници водещи до образуването на изопрен (ISOP) за България показват, че приносът на биогенните емисии е най-голям, с добре изразени денонощен и сезонен ход, който се мени от 65% до 85% в зависимост от сезона. Разглеждайки приносът на източниците от SNAP_07 се вижда, че той е по-малък и в противофаза с този на биогенните емисии. През лятото приносът на SNAP_07 достига едва 10%, докато през останалите сезони през нощта той е по-голям от този на биогенните. Приносите на емисиите от енергетиката и

SNAP_02 са почти нулеви и леко отрицателни през различните сезони.

Всички типове източници водещи до образуването на амоняк имат добре изразени денонощен и сезонен ход, като отрицателният принос на SNAP_01, който е водещ през всички сезони, през зимата става положителен. Следващият по големина е приносът на емисиите от SNAP_02, който винаги е отрицателен и е най-голям през зимата около -10%. Приносът на SNAP_07 е най-малък и през всички сезони е отрицателен. Приносът на биогенните емисии през всеки сезон се мени, като по обяд той е най-голям. През зимата е много малък и изцяло отрицателен, през лятото е изцяло положителен и много голям, а през пролетта и есента е положителен само по обяд но много малък.

Всички типове източници водещи до образуването на серен диоксид са с положителен принос и с добре изразени сезонен и денонощен ход, който е различен за различните източници. На всички фигури се вижда, че най-голям принос има енергетиката, докато приносите на биогенните емисии и SNAP_07 са почти нулеви. Приносът на източниците от SNAP_02 е втори по големина, като през зимата е най-голям, а през лятото най-малък и е почти колкото приносът на SNAP_07.

През всички сезони антропогенните източници водещи до образуването на едри прахови частици имат положителен принос, с добре изразени сезонен и денонощен ход, който е различен за различните източници. Приносът на биогенните емисии е много малък дори нулев и може да бъде отрицателен. През лятото и есента енергетиката има най-голям принос до 10%, следван от този на SNAP_02, които през лятото е колкото приносът на емисиите от SNAP_07 около 2%, а през есента е около два пъти повече от него. През пролетта и средно за годината в началото е водещ приносът на енергетиката, след което почти се изравнява с този на SNAP_02 и в те си разменят местата. През зимата приносът от SNAP_01 е водещ само през нощта, докато през деня е този на SNAP_02.

През всички сезони антропогенните източници водещи до образуването на фини прахови частици имат положителен принос, с добре изразени сезонен и денонощен ход, който е различен за различните източници. Приносът на биогенните емисии е много малък дори нулев и може да бъде отрицателен. Както се вижда навсякъде доминиращият принос е този на източниците от енергетиката около 12%. През пролетта и зимата приносът на SNAP_02 е вторият по големина следван от източниците от автомобилният транспорт, като през есента и лятото е обратното, а средно за годината двата приноса са почти равни.

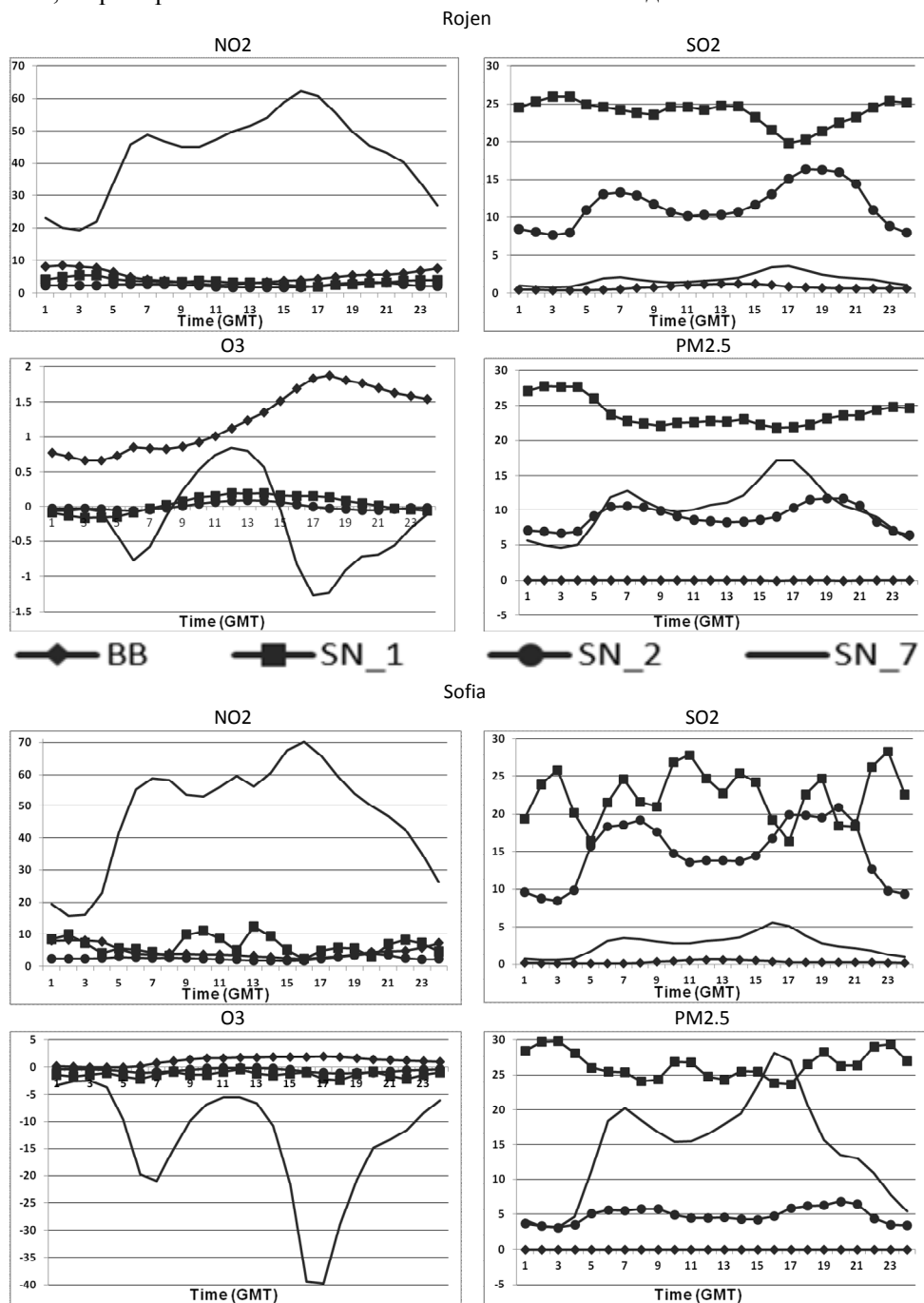
Оценки на годишно и по сезонно осреднените приземни приноси (в %) на емисиите от SNAP_01, SNAP_02, SNAP_07 и биогенните емисии водещи до образуването на различни замърсители осреднени за територията на София: Приземните относителни приноси на отделните източници водещи до образуването на азотен диоксид (NO₂) за София са с положителен принос и с добре изразени сезонен и денонощен ход, който е различен за различните източници. На всички фигури се вижда, че приносът на емисиите от автомобилният транспорт е най-голям през деня, като през лятото достига до 80%, а през зимата 60%. През нощта отново той е доминиращ но с принос от около 10 до 20% в зависимост от сезона. Приносите на останалите източници е сравнително малък спрямо този от SNAP_07, като само този от енергетика леко изпъква над останалите с принос от около 10%.

Приземните относителни приноси на отделните източници водещи до образуването на озон за София през различните сезони за отделните източници е различен но с почти еднакъв денонощен ход. Приносът на биогенните емисии навсякъде е положителен, а този на източниците от автомобилният транспорт е най-голям и навсякъде е отрицателен с изключение на следобедните часове през лятото. Приносът на източниците от SNAP_01 и SNAP_02 е много малък и варира около нулата

Приземните относителни приноси на отделните източници водещи до образуването на изопрен (ISOP) за София показват, че те са с добре изразени денонощен и сезонен ход, като приносът на биогенните емисии е най-голям и през деня достига 100%, а през нощта в зависимост от сезона се мени между 0 и 10%. Приносът на автомобилният транспорт, е най-голям през деня вариращ между 80% до 100%. През деня силно намаля, като в привечерните часове през лятото дори става леко отрицателен. Приносът на източниците от SNAP_01 и SNAP_02 е много малък в сравнение с другите два приноса, клонящ и вариращ около нулата.

Всички типове източници водещи до образуването на амоняк имат добре изразен сезонен ход, като доминира отрицателният приносът на SNAP_01 до -20%, с изключение през зимата, но тогава той е по-голям и достига -35%. Следващият по големина е приносът на SNAP_02, който също винаги

е отрицателен и става доминиращ през зимата достигайки -85%. Приносът на SNAP_07 е най-малък, клонящ към нулата и през повечето време е отрицателен, само в сутрешните летни часове става леко положителен. Приносът на биогенните емисии през всеки сезон се мени, като по обяд той е най-голям. През зимата е много малък и изцяло отрицателен, през лятото е изцяло положителен и достига до 5%, а през пролетта и есента е положителен само по обед но е много малък.



Фиг. III.2. Графики на “типичния” годишно осреднен денонощен ход на приносите [%] на биогенните емисии и тези от SNAP_01, SNAP_02 и SNAP_07 водещи до образуването на NO₂, SO₂, O₃ и PM2.5 в Рожен и София.

Всички типове източници водещи до образуването на серен диоксид са с положителен принос и с добре изразен сезонен ход, който е различен за различните източници. На всички фигури се вижда,

че най-голям принос има енергетиката, докато приносът на биогенните емисии е почти нулев. Приносът на SNAP_07 силно се мени през сезоните, като през пролетта и зимата той е почти нулев. През есента достига до 5% но е три пъти по малък от този на SNAP_02, а през лятото двата приноса се изравняват и следват един друг. Приносът на източниците от SNAP_02 е втори по големина, като е през зимата той е доминиращ, а през лятото става почти колкото приносът на SNAP_07.

През всички сезони антропогенните източници водещи до образуването на едри прахови частици имат положителен принос, с добре изразени сезонен и денонощен ход, който е различен за различните източници. Приносът на биогенните емисии е много малък дори нулев и може да бъде отрицателен. През всички сезони енергетиката има почти през цялото денонощие постоянен принос около 20%. През пролетта приносите на SNAP_02 и SNAP_07 са почти равни и са около 10%, докато през лятото и есента този от SNAP_07 става значително по-голям, като през деня е колкото приносът на SNAP_01, а в следобедните часове дори по-голям от него. Приносът на SNAP_02 е около 25% и е доминиращ през зимата, като по обед леко намаля и се изравнява с приноса на енергетиката, а приносът на SNAP_07 е на половина колкото него.

През всички сезони антропогенните източници водещи до образуването на фини прахови частици имат положителен принос, с добре изразени сезонен и денонощен ход, който е различен за различните източници. Приносът на биогенните емисии е много малък дори нулев и може да бъде отрицателен. Почти през цялото денонощие енергетиката има постоянен принос, който се мени през различните сезони, но почти постоянно е доминиращ. Вторият по големина е приносът на автомобилният транспорт, като през пролетта и лятото през деня става по-голям от този на SNAP_01. Приносът на SNAP_02 е значително по-малък, като през зимата неговото влияние се усилва и става колкото това на SNAP_07.

Оценки на годишно и по сезонно осреднените приземни приноси (в %) на емисиите от SNAP_01, SNAP_02, SNAP_07 и биогенните емисии водещи до образуването на различни замърсители осреднени за територията на Стара Загора: Приземните относителни приноси на отделните източници водещи до образуването на азотен диоксид (NO_2) за Стара Загора показват, че всички източници са с положителен принос и с добре изразени сезонен и денонощен ход, който е различен за различните източници. На фигурите се вижда, че приносът на биогенните емисии е най-голям през нощта, с изключение на зимата, като минимумът му е следобед, освен това приносът на биогенните емисии е най-голям през лятото и най-малък през зимата, което най-вероятно се дължи на фотохимичните процеси на трансформация на NO_2 . Разглеждайки приносът на източниците от SNAP_07 се вижда, че той е има най-голям принос и е в противофаза с този на биогенните емисии. Приносът на енергетиката е около четири пъти по-малък от този на горните два, като през зимата той нараства до около 5%, а през лятото е най-малък. Приносът на източниците от SNAP_02 е най-малък и клонящ към 0%, като само през зимата той нараства до около 5%. Повишеният принос на източниците от SNAP_01 и SNAP_02 през зимата най-вероятно е свързано с повишеното количеството на емисиите през този сезон, а също така и с метеорологичните условия.

Приземните относителни приноси на отделните източници водещи до образуването на озон (O_3) за Стара Загора се вижда, че всички източници са с добре изразени сезонен и денонощен ход, който е почти еднакъв за всички източници. Приносът на биогенните емисии е основно положителен и най-голям, като само в първите часове на денонощието и през зимата той е отрицателен. Приносът на SNAP_02, като цяло е най-малкият и е леко положителен само по обяд, а през останалото време е отрицателен. SNAP_07 през повечето време има най-голям отрицателен принос, като само по обед през пролетта и целият ден на лятото той става положителен, като се доближава до приносът на биогенните емисии. Приносът от енергетиката е изцяло отрицателен с изключение през деня на лятото когато става положителен но в сравнение с другите приноси той е нищожно малък както и този на SNAP_02.

Приземните относителни приноси на отделните източници водещи до образуването на изопрен (ISOP) за Стара Загора се вижда, че приносът на биогенните емисии е най-голям, с добре изразени денонощен и сезонен ход, който се мени от 30% до 110% (принос надвишаващ 100% е интуитивно неприемлив, но той е възможен, като се имат пред вид сложните и нелинейни взаимодействия между примесите) в зависимост от сезона. Разглеждайки приносът на източниците от SNAP_07 се вижда, че той е по-малък и в противофаза с този на биогенните емисии. През лятото приносът на SNAP_07 е

предимно отрицателен, като достига до -40%, докато през останалите сезони през нощта той е по-голям от този на биогенните. Приносите на емисиите от енергетиката и SNAP_02 са почти нулеви и променят знака си през различните сезони.

Всички типове източници водещи до образуването на амоняк имат добре изразен сезонен ход, като само при биогенните емисии може да се види лек денонощен ход и положителен принос през деня. Приносът на SNAP_01, е водещ през всички сезони, като с изключение на зимата леко се откроява неговият денонощен ход. Следващият по големина е приносът на емисиите от SNAP_02, който през зимата е равен или по-голям от този на SNAP_01, а през лятото е нулев. Приносът на SNAP_07 е най-малък и през всички сезони е отрицателен и близък до нулата.

Всички типове източници водещи до образуването на серен диоксид са с положителен принос и с добре изразени сезонен и денонощен ход, който е различен за различните източници. На всички фигури се вижда, че най-голям принос има енергетиката, докато приносите на биогенните емисии и SNAP_07 са почти нулеви. Приносът на източниците от SNAP_02 е втори по големина, като през зимата е най-голям, а през лятото най-малък и е почти колкото приносът на SNAP_07.

Всички типове източници водещи до образуването на едри прахови частици имат положителен принос, с добре изразени сезонен и денонощен ход, който е различен за различните източници. Приносът на биогенните емисии е много малък дори нулев и може да бъде отрицателен. През лятото и есента енергетиката има най-голям принос до 30%, следван от този на SNAP_02, които през есента е колкото приносът на емисиите от SNAP_07 около 10%, а през пролетта е около три пъти повече от него. През зимата приносите на SNAP_01 и SNAP_02 са почти равни и са по-около 30% всеки. Приносът на SNAP_07 е около 5% до 10%, като е втори по големина през лятото и в следобедните часове тогава се изравнява с приноса на SNAP_01.

Всички типове източници водещи до образуването на фини прахови частици имат положителен принос, с добре изразени сезонен и денонощен ход, който е различен за различните източници. Приносът на биогенните емисии е много малък дори нулев и може да бъде отрицателен. Както се вижда навсякъде доминиращият принос е този на източниците от енергетиката около 35%. През зимата приносът на SNAP_02 е вторият по големина следван от източниците от автомобилният транспорт, като през пролетта двата приноса се изравняват, а през лятото и есента приносът на SNAP_07 е втори по големина и дори става равен на този от енергетиката в летните следобедни часове.

Оценки на годишно и по сезонно осреднените приземни приноси (в %) на емисиите от SNAP_01, SNAP_02, SNAP_07 и биогенните емисии водещи до образуването на различни замърсители осреднени за територията на Рожен: Приземните относителни приноси на отделните източници водещи до образуването на азотен диоксид (NO₂) за Рожен показват, че всички антропогенни източници, почти винаги са с положителен принос и с добре изразени сезонни и денонощни ходове, които са различен за различните източници. На всички фигури се вижда, че приносът на автомобилният транспорт е най-голям, като през лятото достига до 75%. Приносът на всички останали източници е пренебрежимо малък спрямо него, като дори биогенните емисии имат отрицателен принос през лятото и зимата, както и тези от SNAP_01.

Всички източници водещи до образуването на озон са с добре изразени сезонен и денонощен ход, който е различен за всички източници. Приносите на SNAP_01 и SNAP_02 са най-малки и са положителни само през деня, като този от енергетиката е изцяло положителен през лятото и изцяло отрицателен през зимата. Най-голям положителен принос имат биогенните емисии до 5% като през зимата той става отрицателен и клонящ към нулата. Приносът на автомобилният транспорт е отрицателен през зимата, есента и през нощта на пролетта, като през лятото е изцяло положителен и дори през деня става по-голям от този на биогенните емисии, а през пролетта по-обед се изравнява с тях.

Приземните относителни приноси на отделните източници водещи до образуването на изопрен (ISOP) за Рожен показват, че приносът на биогенните емисии е най-голям, с добре изразени денонощен и сезонен ход, който се мени от 10% до 100% в зависимост от сезона. Разглеждайки приносът на източниците от SNAP_07 се вижда, че той е по-малък и в противофаза с този на биогенните емисии. През лятото приносът на SNAP_07 в 03:00 часа достига едва 10%, докато през останалото време и по-обед през пролетта той е отрицателен и може да стане -60%. През останалите сезони през нощта той е по-голям от този на биогенните. Приносите на SNAP_01 и SNAP_02 са почти нулеви и леко отрицателни през различните сезони.

Всички антропогенни източници водещи до образуването на амоняк имат отрицателен принос, добре изразени денонощен и сезонен ход. Приносът на SNAP_01 е най-голям до -26% и доминира през почти всички сезони. Като само през зимата доминиращ става вторият по големина приносът на SNAP_02, но с огромен отрицателен принос до -55%, поради което в годишно осреднените приноси той е с по-голям принос от този на енергетиката. Приносът на биогенните емисии е положителен през всеки сезон, като само на пролет рано сутрин той е леко отрицателен. SNAP_07 има най-малък отрицателен принос през всички сезони до -5%.

Всички източници водещи до образуването на серен диоксид са с положителен принос и с добре изразени сезонен и денонощен ход, който е различен за различните източници. На всички фигури се вижда, че най-голям принос има енергетиката около 25%, докато приносите на биогенните емисии и SNAP_07 са почти нулеви. Приносът на източниците от SNAP_02 е втори по големина и е около 10%, като през зимата той е най-голям, а през лятото приносът от не индустриалното изгаряне силно намаля и е почти колкото приносите на SNAP_07 и биогенните емисии.

През всички сезони антропогенните източници имат положителен принос водещи до образуването на едри прахови частици, с добре изразени сезонен и денонощен ход, който е различен за различните източници. Приносът на биогенните емисии е много малък дори нулев и може да бъде отрицателен. През всички сезонни енергетиката има принос около 20%, като той е доминиращ през лятото и есента. Втори по големина е този на SNAP_02, които през зимата и пролетта е по-голям от този на SNAP_01, а през есента е през деня е много близо до него. Приносът на емисиите от SNAP_07 е около 12%, като в 16:00 часа на лятото и есента е най-голям около 18% и е по-голям от този на енергетиката. През лятото втори по значимост е приносът на автомобилният транспорт.

През всички сезони антропогенните източници имат положителен принос водещи до образуването на фини прахови частици, с добре изразени сезонен и денонощен ход, който е различен за различните източници. Приносът на биогенните емисии е много малък дори нулев и може да бъде отрицателен. Както се вижда навсякъде доминиращият принос е този на източниците от енергетиката около 25%. През зимата приносът на SNAP_02 е вторият по големина следван от източниците от автомобилният транспорт, като през пролетта тези два приноса са почти равни. Приносът на SNAP_07 е втори по големина през лятото и есента, като през есента в 17:00 часа става по-голям от този на енергетиката.

За произхода и механизмите за образуване на приземния озон в България

Впечатление прави малкият относителен принос на биогенните емисии към формирането на приземния озон. На пръв поглед това изглежда странно, като се има пред вид, че биогенните емисии са голям източник на ЛОС, такива като изопрен, терпен, а ЛОС от своя страна са един от основните прекурсори на озона.

Приносите на основните източници на NOx също е малък. За да се обясни този факт трябва по-подробно да се разгледат реакциите на озоновата фотохимия (Finlayson-Pitts and Pitts, 1986, Seinfeld and Pandis, 1998, Staehelin, Prévôt and Barnes, 2000) и по специално чрез системата верижни реакции на ROx/HOx радикалите.

ОН радикалите могат да реагират:

(i) с органични съединения, водещи до формиране на пероксирадикал, което води до образуване на озон чрез окисляване на NO до NO₂, или

(ii) ОН може да реагира с NO₂, формирайки HNO₃ което е крайна реакция, потискаща образуването на O₃.

Доминирането на механизъм (i) над (ii) зависи от съотношението на концентрациите на NO₂ и сумарната концентрация на не метанови ЛОС (взети с тегла пропорционални на скоростите на химични реакции на съответните индивидуални съединения). В градска среда обикновено концентрациите на NO₂ са толкова големи, че образуването на HNO₃ доминира реакциите на ОН радикалите (механизъм (ii)), което води до това, че образуването на O₃ е малка. Тези условия са наречени ЛОС-ограничение, защото образуването на O₃ се интензифицира с увеличаване концентрациите на ЛОС. Далеч от града концентрациите на NO₂ в даден обем въздух трайно намаляват, защото NO₂ реагира с наличните ОН радикали, както, разбира се, и поради дифузията. Намаляването на NO₂ променя доминирането на механизъм (ii) над механизъм (i), благоприятствайки

главно механизъм (i) и съответно локалната продукция на O_3 се увеличава. Когато концентрациите на NO_x са достатъчно намалели, сместа от органични и NO_x концентрации преминава през състояние, при което съотношението на концентрациите на озоновите прекурсори е такова, че продукцията на O_3 става максимална, което е наречено “режим на преход”. При по-нататъшно намаляване концентрациите на NO_x (чрез механизъм (ii)) локалната продукция на O_3 се ограничава от наличността на NO_x режим който се нарича NO_x -ограничение.

Проследявайки концентрациите на NO_2 (от глава II.), а също така и от показаните по-горе оценки на приноса на биогенните емисии, може да се направи извод, че както за страната като цяло, така и за отделните точки по отношение на климата на озоново замърсяване преобладаващият режим е този на NO_x -ограничение.

ГЛАВА IV ОЦЕНКА ПРИНОСА НА РАЗЛИЧНИТЕ ПРОЦЕСИ КЪМ ФОРМИРАНЕ ОБЩАТА КАРТИНА НА ЗАМЪРСЯВАНЕ В СТРАНАТА

Атмосферното замърсяване и съответно неговият климат се формират в резултат на взаимодействието на различни динамични и химични процеси (включително хетерогенна и аерозолна химия и динамика). Познаването на тези процеси, на тяхното взаимодействие и принос, очевидно е изключително важно за обяснение на общата картина на замърсяване в страната и отделни нейни точки.

Използвания при симулациите модел CMAQ има опция, наречена “Integrated Process Rate Analysis”, която позволява да се оцени ролята на всеки от отделните процеси при формиране на атмосферното замърсяване, като изменението на концентрацията за даден интервал от време Δt се представи като сума от приноса на различните процеси.

Процесите, които влияят върху формиране картината на замърсяване са следните: хоризонтална и вертикална дифузия, хоризонтална и вертикална адвекция, емисии, сухо отлагане, химически трансформации, аерозолни процеси, хетерогенна химия и облачни процеси, съхранение на масите.

В тази глава на дисертацията са представени главно някои резултати от компютърните симулации, оценяващи приноса на различните динамични процеси на пренос и трансформация на замърсителите, които формират климатът на замърсяването на въздуха в България. В IV.2. са представени двумерни картини на някои осреднени по ансамбъл приземни (всъщност за първия слой в областта на интегриране) приноси на отделните процеси за територията на България. В IV.3. са представени някои оценки на осреднените по ансамбъл приземни приноси на отделните процеси на транспорт и трансформация на замърсителите, осреднени за територията на България и за отделни точки.

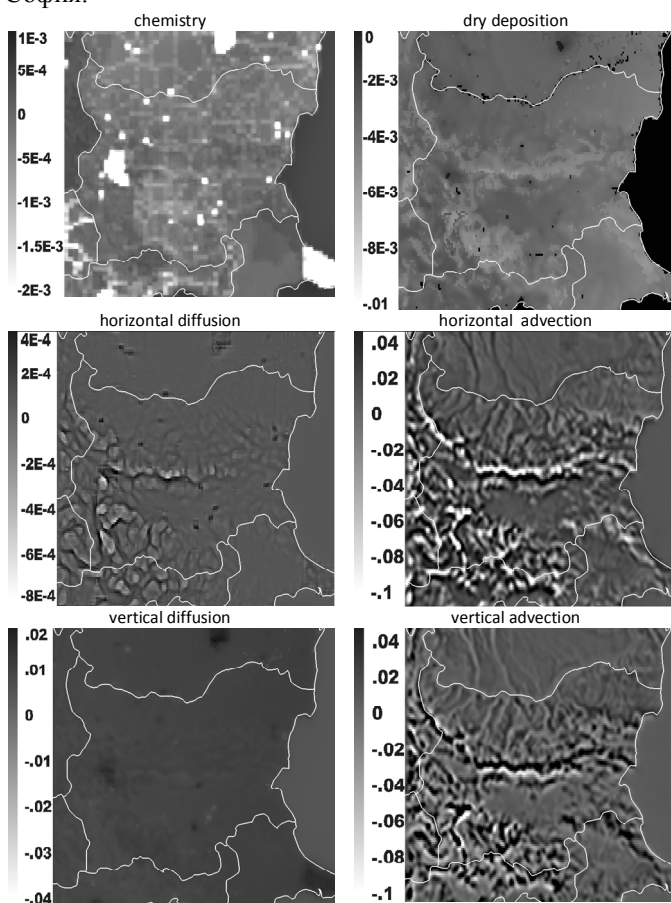
Включването на опцията за изследването на приносите на отделните процеси, дава възможност да се определят не само приносите на отделните процеси за определен замърсител, но също така и за група (семејство) от замърсители. В тази глава се разглеждат само една група от газовите замърсители NO_y , а също така и две групи от праховите замърсители ACOARSE и A2.5 (едри и фини прахови частици).

Двумерни полета на осреднените приземни приноси на отделните процеси

Изследването на отделни процеси на транспорт и трансформация на замърсителите има за цел да покаже, кой или кои процеси са водещи при определяне замърсяването на въздуха. Това силно зависи не само от емисиите на даденият замърсител, релефа, подложната повърхност и метеорологията, но също така и от спецификата на даденият замърсител, като например дали той е газ или аерозол, а от тук дали, до колко и как ще му влияят химичните и аерозолните процеси при изменението на неговите концентрации.

Годишно осреднени карти за полетата на приземните приноси на отделните процеси водещи до образуването на азотен диоксид (NO_2): Хоризонталната и вертикалната адвекция се изменят в един и същи диапазон, и като се съпоставят една с друга, добре се вижда влиянието на релефа. Хоризонталната и вертикална адвекция имат като правило обратен знак, което е отражение на уравнението на непрекъснатост (несвиваемост на атмосферата). В полетата и на хоризонталната и на вертикалната адвекция много добре се открояват планинските вериги – отражение на ефектите на обтичане и, може би, склонов вятър. И на двете фигури добре се откроява техният отрицателен принос, най-вече над големите градове и ТЕЦ-овете, като при хоризонталната адвекция се вижда, че максималният принос е изнесен в страни от основните източници на NO_2 и по това може да се съди за

преобладаващите ветрове в зоните около тях. Приносът на хоризонталната дифузия е положителен само по високите части на планините и около източниците на NO_2 и е отрицателен в подножията на планините и над самите източници. Както се вижда над останалата част от страната той е почти нулев. Приносът на вертикалната дифузия е отрицателен и много добре се открояват София и предприятията (приземни и ниски източници), където тя има най-голям отрицателен принос. Изключение правят само ТЕЦ-овете Марица Изток, Бобов дол, Варна, Бургас, Русе и Пловдив, които се открояват, като места с положителен и в отделни части от денонощието дори максимален принос на вертикалната дифузия (високи източници). Приносът тези двете двойки адвекции и дифузии се мени в един и същи диапазон, и като цяло техният най-голям отрицателен принос е съсредоточен най-вече над района на София.



Фиг. IV.1. Хоризонтално разпределение на приносите [$\mu\text{g}/\text{hour}$] на различни процеси към часовите изменения на приземния озон в 06.00GMT (08.00 местно време).

Приносът на сухото отлагане е най-голям над София и ТЕЦ-овете Бобов дол, Марица Изток и Хасково, което не е странно имайки в предвид, че именно там се открояват местата с едни от най-високите концентрации в страната. Местата с нулеви приноси на сухото отлагане са точно където се очаква да бъдат, а именно над морето, реките и язовирите, като и те също така добре се открояват на картата. Приносът на облачните процеси/ водната химия също е изцяло отрицателен, но е пренебрежимо малък, като той е най-голям над планините и в определени части на деня се открояват София и ТЕЦ-овете Перник и Бобов дол. Приносът на химичните процеси е изцяло положителен и е най-голям в сравнение с останалите процеси, като местата на които той е максимален са над точковите източници на NO_2 .

Годишно осреднени карти за полетата на приземните приноси на отделните процеси водещи до образуването на азотни окиси (GNOY): Средно годишните приноси на приземните процеси водещи до образуването на азотни окиси доста наподобяват тези за азотният диоксид. Хоризонталната и вертикалната адвекция и тук се изменят в един и същи диапазон и са с обратни

знаци над и покрай планините. Освен това приносите на адвекциите и на вертикалната дифузия са равни и са два пъти по-големи от тези на азотният диоксид, като само хоризонталната дифузия има равен на него принос. Сухото отлагане има по-голям отрицателен принос, като в 11:00 часа той е максимален над абсолютно цялата страна.

От разглеждането на приносите на отделните процеси за това семейство от замърсители се вижда, че при него се появява още един процес, а именно този на образуването на аерозоли. При него през цялото денонощие приносът му е изцяло положителен и най-голям само над планините, като по обяд почти над цялата страна той става положителен. Аерозолните процеси имат най-голям отрицателен принос през цялото денонощие над София, а също така и над предприятията в отделни часове от деня. Освен това се вижда, че приносът на ТЕЦ-овете също е положителен, като този на ТЕЦ София и Перник в 05:00 и 17:00 часа е максимален.

Годишно осреднени карти за полетата на приземните приноси на отделните процеси водещи до образуването на озон (O_3): Хоризонталната и вертикалната адвекция се изменят в един и същи диапазон, и като се съпоставят една с друга, добре се вижда влиянието на релефа. Местата на които хоризонталната адвекция има най-голям отрицателен принос (планините в даден момент), то вертикалната адвекция в същият този момент там е положителна. Приносът на хоризонталната дифузия почти навсякъде е отрицателен и клони към нулата, като планините се открояват с максимален отрицателен принос, а долините с максимален положителен. Приносът на вертикалната дифузия се отличава от този на азотният диоксид, и това не е странно имайки предвид, че двата замърсителя са в противофаза и единият води до трансформирането му в другият. Разликата в знаците на приноса на вертикалната дифузия се обяснява и с това, че азотните оксиди в голяма степен произхождат от приземни източници, докато значителна част от приземният озон е резултат от пренос от по-високите слоеве. През цялото денонощие над почти цялата страна той е положителен, изключение прави само ТЕЦ Марица Изток в 05:00 и 17:00 часа, като точка с максимален отрицателен принос, а София и планините се открояват като места с най-голям положителен принос през денонощието. Приносът на сухото отлагане е най-голям над планините, като в 11:00 часа над цялата област той е максимален, разпределен равномерно над цялата страна и не се открояват особени точки. Приносът на облачните процеси/ водната химия, също е изцяло отрицателен, разпределен е почти равномерно и е пренебрежимо малък, като планинските върхове се открояват с по-висок отрицателен принос, а над някои ТЕЦ-ове и предприятия той е максимален. Химичните процеси през по-голямата част от денонощието имат отрицателен принос, като само по обяд почти навсякъде той е положителен. През цялото време София, Девня и Бургас се открояват с максимален отрицателен принос, като в 05:00 и 17:00 часа много добре се виждат ТЕЦ-овете, предприятията и конфигурацията на пътната мрежа, като места с максимален отрицателен принос.

Годишно осреднени карти за полетата на приземните приноси на отделните процеси водещи до образуването на серен диоксид (SO_2): Въпреки, че не са в едни и същи скали може да се види, че местата на които хоризонталната адвекция има най-голям отрицателен принос (планините в даден момент), то вертикалната адвекция в същият този момент там е положителна. Над ТЕЦ-овете най-силно изпъкват максималните отрицателни приноси на хоризонталната адвекция и положителният на вертикалната адвекция. Приносът на хоризонталната дифузия почти навсякъде е отрицателен и клони към нулата, като ТЕЦ-овете се открояват с максимален отрицателен принос, а околностите около тях с повишен положителен и на места максимален. Приносът на вертикалната дифузия през цялото денонощие почти навсякъде е отрицателен и клонящ към нулата, като изключение правят ТЕЦ-овете с максимален положителен принос (високи източници на SO_2). Приносът над София през цялото денонощие е най-силно отрицателен (ниски и приземни източници). Приносът на сухото отлагане е най-голям над ТЕЦ-овете, докато над останалата част почти навсякъде клони към нулата. Приносът на облачните процеси/ водната химия е пренебрежимо малък и също е изцяло отрицателен. Планинските върхове се открояват с по-висок отрицателен принос, от този в областта около тях. Отрицателният принос на облачните процеси/ водната химия е максимален над ТЕЦ-овете и се откроява на обширни територии около тях. Химичните процеси през по-голямата част от денонощието имат почти нулев принос, като само ТЕЦ-овете се открояват с леко по-голям отрицателен принос. По обяд приносът навсякъде нараства, като над

планините той е по-малък, а влиянието на ТЕЦ-овете е максимално и се разпростира над почти цялата страна.

Годишно осреднени карти за полетата на приземните приноси на отделните процеси водещи до образуването на амоняк/ амония (NH_3): Въпреки, че не са в едни и същи скали може да се види, че местата на които хоризонталната адвекция има най-голям отрицателен принос (планините в даден момент), то вертикалната адвекция в същият този момент там е положителна. Над предприятията свързани с производството на амоняк най-силно изпъкват максималните отрицателни приноси на хоризонталната адвекция и положителният на вертикалната адвекция. Приносът на хоризонталната дифузия почти навсякъде е отрицателен и клони към нулата, като предприятията се открояват с максимален отрицателен принос, а околностите около тях с повишен положителен принос. Приносът на вертикалната дифузия навсякъде през цялото денонощие е отрицателен и клонящ към нулата, като изключение правят някои от предприятията в 11:00 часа с положителен принос. Приносите на сухото отлагане и облачните процеси/ водната химия са най-големи над предприятията, докато над останалата част почти навсякъде клони към нулата. Аерозолните процеси през цялото денонощие почти навсякъде имат отрицателен принос, с изключение над планинските върхове през нощта, където той е леко положителен. Максимален отрицателен принос през цялото денонощие се наблюдава над София, докато над предприятията в 05:00 и 17:00 часа. Над ТЕЦ-овете приносът на аерозолните процеси също е максимален и се наблюдава почти през цялото денонощие, като това се дължи на процесите на десулфуризация.

Годишно осреднени карти за полетата на приземните приноси на отделните процеси водещи до образуването на амоний/ амониум (NH_4): Въпреки, че не са в едни и същи скали може да се види, че местата на които хоризонталната адвекция има най-голям отрицателен принос (планините в даден момент), то вертикалната адвекция в същият този момент там е положителна. Приносът на хоризонталната дифузия почти навсякъде е отрицателен и клони към нулата и максимално отрицателен над ТЕЦ-овете. Планините се открояват с положителен принос, а на отделни места покрай някои от ТЕЦ-овете е максимален. Приносът на вертикалната дифузия почти навсякъде през цялото денонощие е отрицателен, клонящ към нулата и е максимално отрицателен над София. Над предприятията също е максимално отрицателен в 05:00 и 17:00 часа, а над ТЕЦ-овете в 11:00 часа. Приносът на вертикалната дифузия става положителен над предприятията в 11:00 и 23:00 часа, а над ТЕЦ-овете в 05:00 и 17:00 часа. Приносът на сухото отлагане е най-голям над планините, като над останалата част почти навсякъде клони към нулата, а в 11:00 часа почти над цялата страна той става максимално отрицателен. Приносът на облачните процеси/ водната химия също е най-голям над планините и ТЕЦ-овете, докато над останалата част почти навсякъде клони към нулата. Аерозолните процеси през цялото денонощие почти навсякъде имат положителен принос, с изключение над планинските върхове през нощта, където той е леко отрицателен. Максимален положителен принос през цялото денонощие се наблюдава над София и ТЕЦ-овете, докато над предприятията само в 05:00 и 17:00 часа. Над ТЕЦ-овете приносът на аерозолните процеси също е максимално положителен, най-вече в 11:00 часа. От тук и от приносът на вертикалната дифузия и от приносите на химичните процеси на серният диоксид в този момент може да се направи хипотезата, че това най-вероятно се дължи на процесите на десулфуризация.

Годишно осреднени карти за полетата на приземните приноси на отделните процеси водещи до образуването на фини прахови частици (A2.5): Въпреки, че не са в едни и същи скали може да се види, че местата на които хоризонталната адвекция има най-голям отрицателен принос (планините в даден момент), то вертикалната адвекция в същият този момент там е положителна, като максималният отрицателен принос над ТЕЦ-овете на хоризонталната адвекция много добре се откроява в 11:00 часа. Приносът на хоризонталната дифузия почти навсякъде е отрицателен и клони към нулата и максимално отрицателен над ТЕЦ-овете. Планините се открояват с положителен принос, а на отделни места покрай някои от ТЕЦ-овете е максимален. Приносът на вертикалната дифузия почти навсякъде през цялото денонощие е отрицателен, клонящ към нулата и е максимално отрицателен над София. Над самите ТЕЦ-овете той е максимално положителен, а в околностите около ТЕЦ-овете отрицателен, което добре се вижда в 11:00 часа. Приносът на сухото отлагане е най-голям над планините, като над останалата част почти навсякъде клони към нулата, а в 11:00 часа почти над цялата страна той нараства и над ТЕЦ Марица Изток става максимално отрицателен.

Приносът на облачните процеси/ водната химия е максимално отрицателен над планините, над останалата част от страната е положителен но клонящ към нулата, а над ТЕЦ Марица Изток е максимално положителен. Аерозолните процеси през цялото денонощие почти навсякъде имат положителен принос, с изключение над планинските върхове, където той е леко отрицателен. Максимален положителен принос през цялото денонощие се наблюдава над София и ТЕЦ-овете, докато над предприятията само в 05:00 и 17:00 часа. В 11:00 часа приносът на аерозолните процеси показват влиянието на ТЕЦ-овете, като се вижда, че почти над цяла южна България той е положителен, а над почти цяла северна отрицателен.

Оценки на годишно и сезонно осреднените приземни приноси на различните процеси за територията на България и за отделни точки.

Показаните по-горе резултати за приземният принос на различните процеси осреднени по осем годишният ансамбъл, получени чрез компютърно симулиране, могат да бъдат използвани, за да се определят приносите на отделните процеси водещи до образуването на даден замърсител както осреднени за страната, така и за която и да е точка от областта. Това е ценна информация, която може да бъде използвана при изучаване природата на замърсяването в дадена точка за определен замърсител или семейство от замърсители.

Оценки на годишно и сезонно осреднените приземни приноси на различните процеси водещи до образуването на различни замърсители осреднени за територията на България: Приземните приноси на отделните процеси водещи до образуването на азотен диоксид (NO_2) за България показват, че сумарното изменение на процесите (ΔC) водещо до изменението на концентрациите, бива както положително така и отрицателно, с добре изразен денонощен ход, а също така е и различно през различните сезони. Изменението на ΔC се определя главно от малък на брой процеси, които са с големи стойности но с противоположен знак и фази, като за NO_2 това са основно положителният принос на химичните процеси и отрицателният на вертикалната дифузия. Приносът на емисиите, вертикалната и хоризонталната адвекция е доста малък, като приносът на останалите процеси е дори и почти нулев, а това са хоризонталната дифузия, сухото отлагане и облачните процеси.

Приземните приноси на отделните процеси водещи до образуването на GNOY в България показват, че сумарното изменение на процесите (ΔC) водещо до изменението на концентрациите, бива както положително така и отрицателно, а също така и с различен ход през различните сезони. Изменението на ΔC се определя главно от малък на брой процеси, които са с големи стойностите но с противоположен знак и фази, като за GNOY това са главно положителният принос на емисиите и отрицателният на вертикалната дифузия. Приносът на вертикалната и хоризонталната адвекция е доста малък, като приносът на останалите процеси е дори и почти нулев, а това са хоризонталната дифузия, сухото отлагане, химичните, аерозолните и облачните процеси.

Приземните приноси на отделните процеси водещи до образуването на озон в България показват, че сумарното изменение на процесите (ΔC) водещо до изменението на концентрациите е с добре изразен денонощен ход (което бива както положително така и отрицателно), а също така и с различен ход през различните сезони. Изменението на ΔC за различните сезони се определя главно от различни брой процеси, които са с големи стойности но с противоположен знак и фази, като вертикалната дифузия е водещият процес с положителен принос през деня при годишно осреднения случай, а и за всички сезони с изключение през зимата. През зимата и през нощта за всички случаи хоризонталната адвекция е доминиращият процес с положителен принос с изключение на лятото между 12:00 и 16:00 часа когато тя става отрицателна. Приносът на вертикалната адвекция е в противофаза с хоризонталната адвекция и изцяло отрицателен с изключение през лятото от обяд до към 18:00 когато става положителен. През всички сезони за този часови интервал приносът на вертикалната адвекция водещ до изменението на O_3 най-силно намалява. Сухото отлагане е с много добре изразена противофаза с вертикалната дифузия, като през лятото той е доминиращият процес с отрицателен принос през деня. Приносът на химичните процеси е малък и предимно отрицателен с изключение през лятото в интервала между 07:00 и 12:00 часа когато той става положителен. Приносът на хоризонталната дифузия и облачните процеси в сравнение с останалите процеси е практически нулев.

Приносът на хоризонталната дифузия, осреднен по територията на страната, всъщност е нормирания по площта пренос на съответната субстанция през границите. Преобладаващо положителният принос на хоризонталната адвекция (с изключение на часовете около пладне през лятото) говори за предимно чуждестранния произход на приземния озон в България. За това говори и преобладаващо отрицателния принос на химичните трансформации (отново с изключение на часовете около пладне през лятото).

Приземните приноси на отделните процеси водещи до образуването на NH_3 в България показват, че сумарното изменение на процесите (ΔC) водещо до изменението на концентрациите е с леко изразен денонощен ход (което бива както положително така и отрицателно), като през различните сезони то е много малко и почти не се наблюдава значително изменение в ходът му. Изменението на ΔC се определя главно от малък на брой процеси, които са с големи стойности но с противоположен знак и фази, като за NH_3 това са положителният принос на емисиите и отрицателният на вертикалната дифузия. Освен това на графиките се вижда, че приносът на останалите процеси е доста малък, като само леко се открояват хоризонталната адвекция с положителен и аерозолните процеси с отрицателен принос.

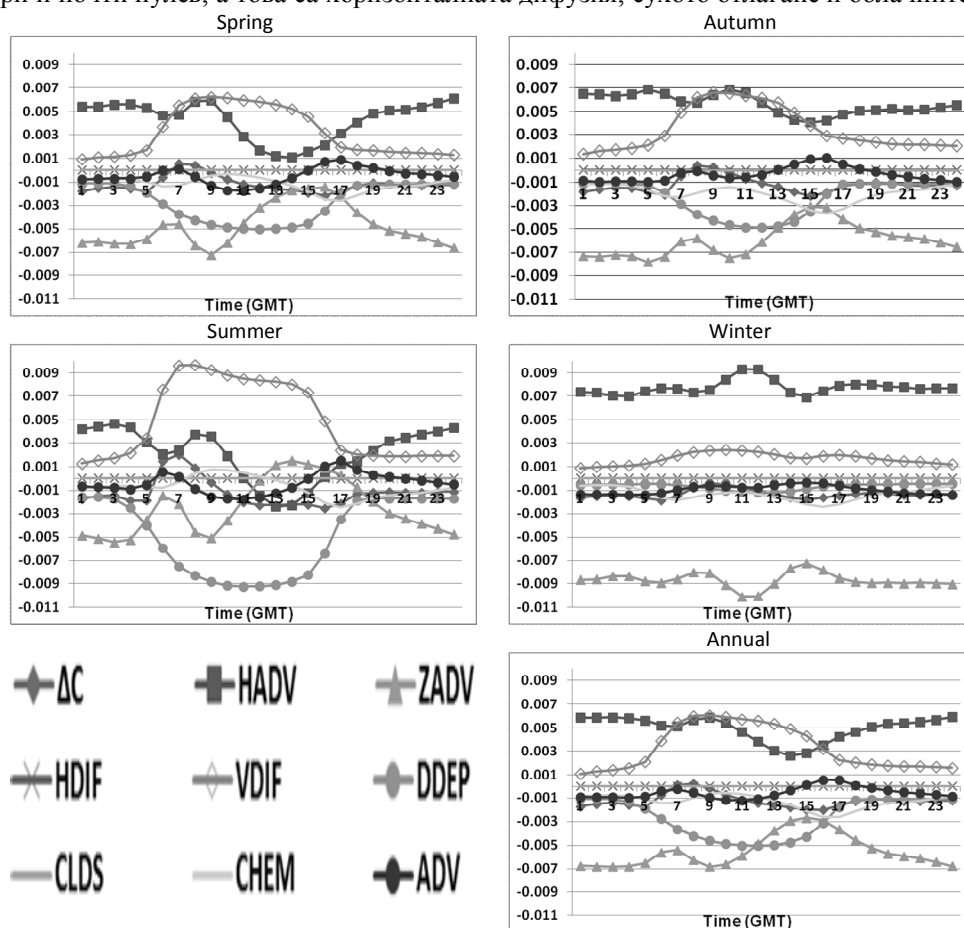
Приземните приноси на отделните процеси водещи до образуването на NH_4 в България показва, че сумарното изменение на процесите (ΔC) водещо до изменението на концентрациите, бива както положително така и отрицателно и с добре изразен денонощен ход, а също така и с различен ход през различните сезони. Изменението на ΔC се определя главно от малък на брой процеси, които са с големи стойности но с противоположен знак и фази, като за NH_4 това са положителният принос на аерозолните процеси и отрицателният принос на вертикалната дифузия през деня и вертикалната адвекция през нощта. Също така приносът на хоризонталната адвекция е доста голям и предимно положителен с изключение през следобедните часове на лятото и есента когато тя става леко отрицателна. Приносът на останалите процеси е почти нулев, като това са хоризонталната дифузия, сухото отлагане, химичните и облачните процеси.

Приземните приноси на отделните процеси водещи до образуването на SO_2 в България показва, че сумарното изменение на процесите (ΔC) водещо до изменението на концентрациите е с добре изразен денонощен ход (което бива както положително така и отрицателно), а също така и с различен ход през различните сезони. Изменението на ΔC се определя главно от малък на брой процеси, които са с големи стойности но с противоположен знак и фази, като за SO_2 това са положителният принос на емисиите и отрицателният на вертикалната дифузия. Отрицателният приносът на сухото отлагане и вертикалната и адвекция, също е добре представен, а приносът хоризонталната адвекция е с предимно положителен с изключение по изгрев и залез слънце. Приносът на останалите процеси е почти нулев, а това са хоризонталната дифузия, химичните и облачните процеси.

Приземните приноси на отделните процеси водещи до образуването на ACOARSE в България показва, че сумарното изменение на процесите (ΔC) водещо до изменението на концентрациите е с добре изразен денонощен ход (което бива както положително така и отрицателно), а също така и с различен ход през различните сезони. Изменението на ΔC се определя главно от малък на брой процеси, които са с големи стойности но с противоположен знак и фази, като за ACOARSE това са положителният принос на емисиите и отрицателният на сухото отлагане и вертикалната дифузия. Приносът на вертикалната и хоризонталната адвекция е доста малък, като приносът на останалите процеси е дори и почти нулев, а това са хоризонталната дифузия, химичните, аерозолните и облачните процеси.

Приземните приноси на отделните процеси водещи до формирането на A2.5 в България показва, че сумарното изменение на процесите (ΔC) водещо до изменението на концентрациите е с добре изразен денонощен ход (което бива както положително така и отрицателно), а също така и с различен ход през различните сезони. Изменението на ΔC се определя главно от малък на брой процеси, които са с големи стойности но с противоположен знак и фази, като за A2.5 това са отрицателният принос на вертикалните адвекция и дифузия и положителният принос на емисиите, аерозолните процеси и хоризонталната адвекция с изключение през лятото около 17:00 часа когато хоризонталната адвекция става леко отрицателна. Приносът на останалите процеси е почти нулев, а това са хоризонталната дифузия, сухото отлагане, химичните и облачните процеси.

Оценки на годишно и сезонно осреднените приземни приноси на различните процеси водещи до образуването на различни замърсители осреднени за територията на София: Приземните приноси на отделните процеси водещи до формирането на NO_2 над София показва, че сумарното изменение на процесите (ΔC) водещо до изменението на концентрациите е с добре изразен денонощен ход (което бива както положително така и отрицателно), а също така и с различен ход през различните сезони. Изменението на ΔC се определя главно от малък на брой процеси, които са с големи стойности но с противоположен знак и фази, като за NO_2 това са отрицателният принос на вертикалната адвекция през нощта и на вертикалната дифузия през деня с изключение през зимата когато доминира само вертикалната адвекция. Химичните процеси са с доминиращ положителният принос с изключение през зимата когато приносът е равен на този на хоризонталната адвекция. Приносът на хоризонталната адвекция е доста различен за различните сезони - докато през лятото е предимно отрицателен то през зимата е само положителен. Приносът на останалите процеси е доста малък, дори и почти нулев, а това са хоризонталната дифузия, сухото отлагане и облачните процеси.



Фиг. IV.1. Графики на “типичен” годишен и сезонен денонощен ход на осреднените за територията на България приноси на хоризонталната адвекция (HADV), вертикалната адвекция (ZADV), сумарната (хоризонтална + вертикална) адвекция (ADV), хоризонталната дифузия (HDIF), вертикалната дифузия (VDIF), сухото отлагане (DDEP), химичните процеси (CHEM), облачни процеси/водна химия (CLDS) към часовите изменения (ΔC) на приземния O_3 .

Приземните приноси на отделните процеси водещи до формирането на GNOY в България показва, че сумарното изменение на процесите (ΔC) водещо до изменението на концентрациите е с добре изразен денонощен ход (което бива както положително така и отрицателно), а също така и с различен ход през различните сезони. Изменението на ΔC се определя главно от малък на брой процеси, които са с големи стойности, но с противоположен знак и фази, като за GNOY това са положителният принос на емисиите и отрицателният на вертикалната дифузия през деня и

вертикалната адвекция през нощта. Изключение прави само зимата когато положителният принос на емисиите е почти колкото приносът на хоризонталната адвекция, а вертикалната адвекция е с изцяло доминиращ отрицателен принос. Освен това приносът на останалите процеси е доста малък и е почти нулев, а това са хоризонталната дифузия, сухото отлагане, химичните, аерозолните и облачните процеси.

Приземните приноси на отделните процеси водещи до формирането на O_3 в София показва, че сумарното изменение на процесите (ΔC) водещо до изменението на концентрациите е с добре изразен денонощен ход (което бива както положително така и отрицателно), а също така и с различен ход през различните сезони. Изменението на ΔC за различните сезони се определя главно от различни брой процеси, които са с големи стойности, но с противоположен знак и фази, като хоризонталната адвекция и вертикалната дифузия са водещите процеси с положителен принос. Вертикалната адвекция е с доминиращ отрицателен принос през всички сезони с изключение през лятото след 07:00 часа, когато тя става положителна и си сменя знакът с хоризонталната адвекция който пък става отрицателен (вероятно резултат от по-развити конвективни процеси през лятото). Приносът на химичните процеси е малък и е изцяло отрицателен, а приносът на хоризонталната дифузия, сухото отлагане и облачните процеси в сравнение с останалите процеси е практически нулев.

Приземните приноси на отделните процеси водещи до формирането на NH_3 в София показва, че сумарното изменение на процесите (ΔC) водещо до изменението на концентрациите е с добре изразен денонощен ход (което бива както положително така и отрицателно), а също така и с различен ход през различните сезони. Изменението на ΔC се определя главно от малък на брой процеси, които са с големи стойности, но с противоположен знак и фази, като за NH_3 това са положителният принос на емисиите и в по-малка степен на хоризонталната адвекция до около 16:00 часа след което тя става с отрицателен принос. Отрицателният принос на аерозолните процеси и в по-голяма степен на вертикалната дифузия през деня и на вертикалната адвекция през нощта е добре изразен на всички плотове. Изключение прави само зимата, когато аерозолните процеси са доминиращи с отрицателен принос, а хоризонталната адвекция е изцяло положителна. Освен това приносът на останалите процеси е доста малък, дори почти е нулев за сухото отлагане, хоризонталната дифузия, химичните и облачните процеси.

Приземните приноси на отделните процеси водещи до формирането на NH_4 в София показва, че сумарното изменение на процесите (ΔC) водещо до изменението на концентрациите е с добре изразен денонощен ход (което бива както положително така и отрицателно), а също така и с различен ход през различните сезони. Изменението на ΔC се определя главно от малък на брой процеси, които са с големи стойности, но с противоположен знак и фази, като за NH_4 това са положителният принос на аерозолните процеси и хоризонталната адвекция, с изключение през лятото, когато след изгрев тя става изцяло отрицателна. Отрицателният принос на вертикалната адвекция също е добре изразен през всички сезони, но отново през лятото след изгрев тя става положителна. Приносът на вертикалната дифузия е изцяло отрицателен но доста малък в сравнение с изброените процеси. Останалите процеси имат почти нулев принос, а това са хоризонталната дифузия, сухото отлагане, химичните и облачните процеси.

Приземните приноси на отделните процеси водещи до формирането на SO_2 в София показва, че сумарното изменение на процесите (ΔC) водещо до изменението на концентрациите е с добре изразен денонощен ход (което бива както положително така и отрицателно), а също така и с различен ход през различните сезони. Изменението на ΔC се определя главно от малък на брой процеси, които са с големи стойности, но с противоположен знак и фази, като за SO_2 това са положителният принос на емисиите и хоризонталната адвекция, с изключение на лятото. Доминиращите отрицателни приноси на вертикалната адвекция през нощта и на вертикалната дифузия през деня също са добре изразени през всички сезони. През лятото до 08:00 часа приноса на хоризонталната адвекция е положителен, след което става леко отрицателен до 22:00 когато отново става положителен, а приноса на вертикалната адвекция е подобен но с обратен знак. Приносът на останалите процеси е почти нулев, а това са хоризонталната дифузия, химичните и облачните процеси.

Приземните приноси на отделните процеси водещи до формирането на ACOARSE в София показва, че сумарното изменение на процесите (ΔC) водещо до изменението на концентрациите е с добре изразен денонощен ход (което бива както положително така и отрицателно), а също така и с различен ход през различните сезони. Изменението на ΔC се определя главно от малък на брой

процеси, които са с големи стойности, но с противоположен знак и фази, като за ACOARSE това са положителният принос на емисиите и през отделните сезони на хоризонталната адвекция, и отрицателният принос на сухото отлагане и вертикалната адвекция. Приносът на вертикалната дифузия е доста малък, а на останалите процеси е дори и почти нулев, а това са хоризонталната дифузия, химичните, аерозолните и облачните процеси.

Приземните приноси на отделните процеси водещи до формирането на A2.5 в София показва, че сумарното изменение на процесите (ΔC) водещо до изменението на концентрациите е с добре изразен денонощен ход (което бива както положително така и отрицателно), а също така и с различен ход през различните сезони. Изменението на ΔC се определя главно от малък на брой процеси, които са с големи стойности, но с противоположен знак и фази, като за A2.5 това са отрицателният принос на вертикалните адвекция и дифузия и положителният принос на емисиите и хоризонталната адвекция с изключение през лятото. Тогава от 07:00 до 23:00 часа хоризонталната адвекция става отрицателна, а вертикалните адвекция положителна. Аерозолните процеси се открояват, но техният принос е доста по-малък в сравнение с този на изброените по-горе. Приносът на останалите процеси е почти нулев, а това са хоризонталната дифузия, сухото отлагане, химичните и облачните процеси.

Оценки на годишно и сезонно осреднените приземни приноси на различните процеси водещи до образуването на различни замърсители осреднени за територията на Стара Загора: Приземните приноси на отделните процеси водещи до формирането на NO_2 над Стара Загора показва, че сумарното изменение на процесите (ΔC) водещо до изменението на концентрациите е с добре изразен денонощен ход (което бива както положително така и отрицателно), а също така и с различен ход през различните сезони. Изменението на ΔC се определя главно от малък на брой процеси, които са с големи стойности, но с противоположен знак и фази, като за NO_2 това са положителният принос на химичните процеси и хоризонталната адвекция, и отрицателният на вертикалната дифузия през деня и вертикалната адвекция през нощта. Освен това приносът на останалите процеси е дори и почти нулев, а това са хоризонталната дифузия, емисиите, сухото отлагане и облачните процеси.

Приземните приноси на отделните процеси водещи до формирането на GNOY в Стара Загора показва, че сумарното изменение на процесите (ΔC) водещо до изменението на концентрациите е с добре изразен денонощен ход (което бива както положително така и отрицателно), а също така и с различен ход през различните сезони. Изменението на ΔC се определя главно от малък на брой процеси, които са с големи стойности, но с противоположен знак и фази, като за GNOY това са положителният принос на емисиите през деня и хоризонталната адвекция през нощта, и отрицателният на вертикалната дифузия през деня и вертикалната адвекция през нощта. През пролетта и есента хоризонталната и вертикалната адвекция си смят знака по обяд, а през лятото през целият ден. Освен това приносът на останалите процеси е дори и почти нулев, а това са хоризонталната дифузия, сухото отлагане, аерозолните, химичните и облачните процеси.

Приземните приноси на отделните процеси водещи до формирането на O_3 в Стара Загора показва, че сумарното изменение на процесите (ΔC) водещо до изменението на концентрациите е с добре изразен денонощен ход (което бива както положително така и отрицателно), а също така и с различен ход през различните сезони. Изменението на ΔC за различните сезони се определя главно от различни брой процеси, които са с големи стойности, но с противоположен знак и фази, като вертикалната дифузия е водещият процес с положителен принос през деня и хоризонталната адвекция през нощта с изключение през зимата. През зимата и през нощта за всички случаи хоризонталната адвекция е доминиращият процес с положителен принос. Приносът на вертикалната адвекция е в противофаза с хоризонталната адвекция. Сухото отлагане е в много добре изразена противофаза с вертикалната дифузия и то най-вече през лятото. Приносът на хоризонталната дифузия, химичните и облачните процеси в сравнение с останалите процеси е практически нулев.

Приземните приноси на отделните процеси водещи до формирането на NH_3 в Стара Загора показва, че сумарното изменение на процесите (ΔC) водещо до изменението на концентрациите е с постоянно изменящ се денонощен ход, който бива както положително така и отрицателно, а също така и с различен ход през различните сезони. Изменението на ΔC се определя главно от малък на брой процеси, които са с големи стойности, но с противоположен знак и фази, като за NH_3 това са положителният принос на емисиите и отрицателният на вертикалната дифузия. Освен това приносът

на останалите процеси е доста малък, като леко се открояват само хоризонталната и вертикалната адвекция и аерозолните процеси. Постоянното изменение на денонощният ход в приносът на емисиите над Стара Загора се забелязва, че през всички сезони периодите на минимумите и максимумите му съвпадат.

Приземните приноси на отделните процеси водещи до формирането на NH_4 в Стара Загора показва, че сумарното изменение на процесите (ΔC) водещо до изменението на концентрациите е с постоянно изменящ се денонощен ход, който бива както положително така и отрицателно, а също така и с различен ход през различните сезони. Изменението на ΔC се определя главно от малък на брой процеси, които са с големи стойности, но с противоположен знак и фази, като за NH_4 това са положителният принос на аерозолните процеси, хоризонталната адвекция през нощта и вертикалната адвекция през деня, а също така и на отрицателният принос на хоризонталната адвекция и вертикалната дифузия през деня и вертикалната адвекция през нощта. Изключение прави само зимата когато хоризонталната адвекция е изцяло положителна а вертикалната адвекция изцяло отрицателна. Приносът на останалите процеси е почти нулев, а това са хоризонталната дифузия, сухото отлагане, химичните и облачните процеси. Постоянното изменение на денонощният ход в приносът на аерозолните процеси над Стара Загора се забелязва, че през всички сезони периодите на минимумите и максимумите му съвпадат, като това най-добре се вижда през деня.

Приземните приноси на отделните процеси водещи до формирането на SO_2 в Стара Загора показва, че сумарното изменение на процесите (ΔC) водещо до изменението на концентрациите е с добре изразен денонощен ход (което бива както положително така и отрицателно), а също така и с различен ход през различните сезони. Изменението на ΔC се определя главно от малък на брой процеси, които са с големи стойности, но с противоположен знак и фази, като за SO_2 това са положителният принос на емисиите и хоризонталната адвекция през нощта и вертикалната адвекция през деня. Отрицателният принос на сухото отлагане е добре изразен, като също така добре се вижда и приносът на хоризонталната адвекция през деня и вертикалната адвекция през нощта. Приносът на останалите процеси е почти нулев, а това са хоризонталната дифузия, химичните и облачните процеси.

Приземните приноси на отделните процеси водещи до формирането на ACOARSE в Стара Загора показва, че сумарното изменение на процесите (ΔC) водещо до изменението на концентрациите е с добре изразен денонощен ход (което бива както положително така и отрицателно), а също така и с различен ход през различните сезони. Изменението на ΔC се определя главно от малък на брой процеси, които са с големи стойности, но с противоположен знак и фази, като за ACOARSE това са положителният принос на емисиите и хоризонталната адвекция през нощта и вертикалната адвекция и дифузия през деня. Отрицателният принос на сухото отлагане е добре изразен, като също така добре се вижда и приносът на хоризонталната адвекция през деня и вертикалната адвекция през нощта. Освен това приносът на останалите процеси е и почти нулев, а това са хоризонталната дифузия, химичните, аерозолните и облачните процеси.

Приземните приноси на отделните процеси водещи до формирането на A2.5 в Стара Загора показва, че сумарното изменение на процесите (ΔC) водещо до изменението на концентрациите е с добре изразен денонощен ход (което бива както положително така и отрицателно), а също така и с различен ход през различните сезони. Изменението на ΔC се определя главно от малък на брой процеси, които са с големи стойности, но с противоположен знак и фази, като за A2.5 това са положителният принос на аерозолните процеси и хоризонталната адвекция през нощта и вертикалната адвекция през деня. Отрицателният принос хоризонталната адвекция през деня и вертикалната адвекция през нощта също е добре представен. Приносът на останалите процеси е почти нулев, а това са хоризонталната и вертикалната дифузия, химичните и облачните процеси. изключение прави само зимата когато хоризонталната адвекция е изцяло положителна, вертикалната адвекция изцяло отрицателна, а също така приносът на вертикалната дифузия е по-добре изразен в сравнение с останалите случаи.

Оценки на годишно и сезонно осреднените приземни приноси на различните процеси водещи до образуването на различни замърсители осреднени за територията на Рожен: Приземните приноси на отделните процеси водещи до формирането на NO_2 над Рожен показва, че сумарното изменение на процесите (ΔC) водещо до изменението на концентрациите е с добре изразен денонощен ход (което бива както положително така и отрицателно), а също така и с различен ход

през различните сезони. Изменението на ΔC се определя главно от малък на брой процеси, които са с големи стойности, но с противоположен знак и фази, като за NO_2 това са положителният принос на вертикалната адвекция през нощта и химичните процеси. Приносът е отрицателен за хоризонталната адвекция през нощта, вертикалната адвекция през деня и вертикалната дифузия. Приносът за останалите процеси е доста малък дори и е почти нулев, а това са хоризонталната дифузия, сухото отлагане и облачните процеси. Единствено есента се различава в денонощният ход на приносите на отделните процеси, като хоризонталната адвекция е почти изцяло отрицателна с изключение на интервалите между 15:00-17:00 и 20:00-21:00 часа, вертикалната адвекция е положителна само от 07:00-13:00 часа, а вертикалната дифузия през нощта си мени на около всеки два часа знака.

Приземните приноси на отделните процеси водещи до формирането на $GNOY$ в Рожен показва, че сумарното изменение на процесите (ΔC) водещо до изменението на концентрациите е с добре изразен денонощен ход (което бива както положително така и отрицателно), а също така и с различен ход през различните сезони. Изменението на ΔC се определя главно от малък на брой процеси, които са с големи стойности, но с противоположен знак и фази, като за $GNOY$ това са положителният принос на емисиите и хоризонталната адвекция през деня и вертикалната адвекция през нощта. Отрицателният принос на вертикалната адвекция през деня и хоризонталната адвекция през нощта, а също така и на вертикалната дифузия и сухото отлагане са добре открити. Освен това приносът на останалите процеси е дори и почти нулев, а това са хоризонталната дифузия, аерозолните, химичните и облачните процеси.

Приземните приноси на отделните процеси водещи до формирането на O_3 в Рожен показва, че сумарното изменение на процесите (ΔC) водещо до изменението на концентрациите е с добре изразен денонощен ход (което бива както положително така и отрицателно), а също така и с различен ход през различните сезони. Изменението на ΔC за различните сезони се определя главно от различни брой процеси, които са с големи стойности но с противоположен знак и фази. През деня е хоризонталната адвекция, а през нощта вертикалната адвекция са с положителен принос, като през есента хоризонталната адвекция е с изцяло положителен принос, а вертикалната адвекция с изцяло отрицателен, като максимумите им са по-малки и изместени с няколко часа по-късно. Отрицателният принос на сухото отлагане е в противофаза с положителният на вертикалната дифузия. Приносът на хоризонталната дифузия, химичните и облачните процеси в сравнение с останалите процеси е практически нулев.

Приземните приноси на отделните процеси водещи до формирането на NH_3 в Рожен показва, че сумарното изменение на процесите (ΔC) водещо до изменението на концентрациите е с добре изразен денонощен ход (което бива както положително така и отрицателно), а също така и с различен ход през различните сезони. Изменението на ΔC се определя главно от малък на брой процеси, които са с големи стойности, но с противоположен знак и фази, като за NH_3 това са положителният принос на емисиите и отрицателният на вертикалната дифузия, аерозолните процеси и през есента и лятото на сухото отлагане. Освен това приносът на останалите процеси е доста малък и е почти нулев, като само леко се открояват хоризонталната адвекция с положителен принос през деня и отрицателен през нощта и обратното за вертикалната адвекция.

Приземните приноси на отделните процеси водещи до формирането на NH_4 в Рожен показва, че сумарното изменение на процесите (ΔC) водещо до изменението на концентрациите е с добре изразен денонощен ход (което бива както положително така и отрицателно), а също така и с различен ход през различните сезони. Изменението на ΔC се определя главно от малък на брой процеси, които са с големи стойности, но с противоположен знак и фази, като за NH_4 това са положителният принос на аерозолните процеси и отрицателният на вертикалната дифузия през деня и вертикалната адвекция през нощта. Също така приносът на хоризонталната адвекция е доста голям и положителен през деня и отрицателен през нощта, като приносът на вертикалната адвекция е в противофаза с този на хоризонталната адвекция. Приносът на останалите процеси е почти нулев, а това са хоризонталната дифузия, сухото отлагане, химичните и облачните процеси.

Приземните приноси на отделните процеси водещи до формирането на SO_2 в Рожен показва, че сумарното изменение на процесите (ΔC) водещо до изменението на концентрациите е с добре изразен денонощен ход (което бива както положително така и отрицателно), а също така и с различен ход през различните сезони. Изменението на ΔC се определя главно от малък на брой процеси, които са с

големи стойности, но с противоположен знак и фази, като за SO₂ това са положителният принос на емисиите, хоризонталната адвекция през деня и вертикалната адвекция през нощта с изключение през есента. Отрицателният принос на сухото отлагане се вижда през всички сезони с изключение през лятото. Приносът на хоризонталната адвекция през нощта и вертикалната адвекция през деня е отрицателен с изключение през есента. През есента доминиращи са вертикалната дифузия с положителен принос и хоризонталната адвекция с отрицателен, като именно тогава приносът на сухото отлагане е най-голям. Приносът на останалите процеси е почти нулев, а това са хоризонталната дифузия, химичните и облачните процеси.

Приземните приноси на отделните процеси водещи до формирането на ACOARSE в Рожен показва, че сумарното изменение на процесите (ΔC) водещо до изменението на концентрациите е с добре изразен денонощен ход (което бива както положително така и отрицателно), а също така и с различен ход през различните сезони. Изменението на ΔC се определя главно от малък на брой процеси, които са с големи стойности, но с противоположен знак и фази, като за ACOARSE това са положителният принос на емисиите и отрицателният на сухото отлагане. Приносът на вертикалната адвекция през нощта е положителен а през деня отрицателен, а за хоризонталната адвекция обратно. Приносът на останалите процеси е почти нулев, а това са хоризонталната дифузия, химичните, аерозолните и облачните процеси и вертикалната дифузия с изключение през есента. През есента приносът на вертикалната дифузия е положителен и доста голям.

Приземните приноси на отделните процеси водещи до формирането на A2.5 в Рожен показва, че сумарното изменение на процесите (ΔC) водещо до изменението на концентрациите е с добре изразен денонощен ход (което бива както положително така и отрицателно), а също така и с различен ход през различните сезони. Изменението на ΔC се определя главно от малък на брой процеси, които са с големи стойности, но с противоположен знак и фази, като за A2.5 това са положителният принос на емисиите и аерозолните процеси, и отрицателният на вертикалната дифузия. Също така се вижда, че приносът на хоризонталната адвекция е доста голям и положителен през деня и отрицателен през нощта, като приносът на вертикалната адвекция е в противофаза с този на хоризонталната адвекция. Приносът на останалите процеси е почти нулев, а това са хоризонталната дифузия, сухото отлагане, химичните и облачните процеси.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящото изследване беше извършено с методите на компютърната симулация. При това беше използван набор **световно признати** и широко използвани модели с **доказани симулационни качества**, а именно US EPA Models-3 system.

При изследването бяха използвани **надеждни** бази данни, а именно инвентаризация на емисиите и емисионните времеви профили, разработени от TNO, Нидерландия и крупномасштабни метеорологични полета, взети от US NCEP “Global Analysis Data”.

Компютърните симулации бяха извършени чрез последователно решаване на задачата в няколко последователни, вместени една в друга области, при използване възможностите за ‘nesting’ на моделите MM5 и CMAQ. При това от една страна беше постигната висока разрешаваща способност от 3 km за територията на България, а от друга беше отчетено и влиянието на външните за страната европейски емисии върху нивата на замърсяване в България.

Резултатите от компютърните симулации бяха надлежно проверени чрез сравнение с данните от измервания в станциите от НАСЕМ. Сравненията показаха, че в голяма степен е удовлетворено изискването за не повече от 50% неопределеност за едночасовите нива на замърсяване, дефинирано в съответните европейски директиви (European Parliament, 2002) и Приложение №4 към чл.15, т.2 от Наредба №4 от 5.07.2004. Това изискване е категорично удовлетворено за 8-часовите пълзящи средни стойности на озоновите концентрации.

Като цяло от проверката на компютърно симулираните приземни концентрации следва, че като ансамбъл те са достатъчно достоверни и надеждни и **могат да се използват за оценки на замърсяването на страната.**

Компютърните симулации бяха извършени за дълъг период от време - 2000-2007 г. По този начин беше генериран ансамбъл от симулирани приземни концентрации за пет емисионни сценария,

който е **изчерпателен** – отразява възможното многообразие на метеорологични условия, а именно целият набор типични и екстремни ситуации с тяхната характерна повтораемост във времето. По този начин симулираните приземни концентрации и други характеристики на замърсяването и при петте емисионни сценария следва да се приемат за **представителни**, т.е. такива които съдържат, както типичните, така и екстремни конфигурации на полетата с типичната им повтораемост. Така, генерираният ансамбъл може да се разглежда като характеристика на **климата** на замърсяване на страната. Съответно с това получените ансамблови оценки на нивата на замърсяване при всички емисионни сценарии са **универсални** – направените на тяхна основа изводи могат, при равни други условия, да бъдат отнесени към всеки друг период от време.

Анализът на ансамбъла от симулации позволи да бъдат разкрити някои от основните факти относно климата на атмосферно замърсяване в България, изведени от резултатите от компютърните симулации: осреднени по ансамбъла приземни концентрации на замърсители за територията на България и за отделни точки, тяхната денонощна и сезонна изменчивост, границите в които те се изменят с различна вероятност и пр. Бяха определени и абсолютните максимални, получени при анализ на целия ансамбъл, концентрации за съответния замърсител с техния денонощен ход. Бяха пресметнати и показани някои от най-използваните и важни индекси на озоново замърсяване, които са важни не само за човешкото здраве, но също така и за горското и селското стопанство.

Съпоставянето на резултатите от петте емисионни сценария позволи да бъдат оценени, отново в климатичен смисъл (осреднени по целия ансамбъл), приносите на източниците от съответните категории към общата картина на замърсяване в страната с тяхната денонощна и сезонна изменчивост.

Замърсяването на въздуха силно зависи от емисиите на примеси. Ето защо изследването на приноса на емисиите от отделни категории източници (SNAP категории) към общата картина на замърсяване в страната е очевидно задача с голямо практическо значение, чиито резултати могат да бъдат пряко използвани при формулирането на краткосрочни (текущи) решения и дългосрочни стратегии за намаляване на замърсяването на въздуха.

Използвания при симулациите модел CMAQ има опция, наречена “Integrated Process Rate Analysis”, която позволява да се оцени ролята на всеки от отделните процеси при формиране на атмосферното замърсяване. Чрез осредняването на тези приноси по ансамбъл беше изяснена тяхната денонощна и сезонна изменчивост и беше анализирана ролята на отделните процеси за формиране на замърсяването, както за страната като цяло, така и за отделни нейни точки.

Атмосферното замърсяване и съответно неговият климат се формират в резултат на взаимодействието на различни динамични и химични процеси (включително хетерогенна и аерозолна химия и динамика). Познаването на тези процеси, на тяхното взаимодействие и принос, очевидно е изключително важно за обяснение на общата картина на замърсяване в страната и отделни нейни точки.

Един много важен и нов резултат, получен при настоящото изследване е изводът за произхода на приземния озон в България. Анализът както на приноса на емисиите от различните категории източници, така и на ролята на отделните процеси при формиране на приземния озон показва, че характерен за страната е режимът на NO_x лимитация, който ограничава образуването на приземен озон, така че озонът в България произхожда в голяма степен от външни за страната източници.

Анализът на ансамбълът от компютърни симулации, представен в настоящия дисертационен труд, далеч не е изчерпателен.

Например, не са показани резултатите за сухото и влажно отлагане, които са важни характеристики на въздействието на качеството на въздуха върху екосистемите, както и приноса на отделните категории източници към формирането им.

Не са показани и пресметнатите статистически моменти от по-висок порядък, като асиметрия, уплътняване и пр. Изобщо, ансамбълът като цяло търпи по-детайлен и задълбочен статистически анализ.

Могат, също така да се пресметнат и още много индекси на замърсяване и комфорт.

Всички тези задачи ще стоят при бъдещата работа на автора.

Литература:

- Amann, M., Bertok, I., Cofala, J., Gyarmas, F., Heyes, C., Klimont, Z., Makowski, M., Schöpp, W., and Syri, S. (1999): Cost-effective control of acidification and ground-level ozone. Seventh Interim Report, International Institute for Applied System Analysis (IIASA), A-2361 Laxenburg, Austria.
- Atanassov E., T. Gurov, A. Karaivanova, (2006): Computational Grid: structure and Applications, Journal *Avtomatica i Informatica* (in Bulgarian), ISSN 0861-7562, 3/2006, year XL, September 2006, 40-43.
- Brandiyaska A., K. Ganev, D. Syrakov, M. Prodanova, N. Miloshev, (2011a), Modelling of Toxic Substances in the Atmosphere - Risk Analysis and Emergency Forecast, 8th International Conference on Large-Scale Scientific Computations (LSSC'11), Sozopol, Bulgaria June 6 - 10, 2011
- Brandiyaska A., Kostadin G. Ganev, Dimitar E. Syrakov, Maria Prodanova, Georgi J. Georgiev, Nikolay Miloshev, Georgi K. Gadzhev, (2011b), Bulgarian Emergency Response system for Release of Hazardous Pollutants – Fast Decision Mode – 14th International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes, Kos Island, Greece, 2-6 October 2011. pp. 217-221, ISBN: 978-960-89650-6-5
- Brandiyaska A., Ganev, K., Syrakov, D., Prodanova, M., Miloshev, N. and Gadzhev, G., (2011c), Bulgarian emergency response system for release of hazardous pollutants – brief description and some examples (submitted to International Journal of Environment and pollution, ISSN: 0957-4352, IF 0.706)
- Brandiyaska A., K. Ganev, D. Syrakov, M. Prodanova, N. Miloshev, (2012), Risk analysis and emergency forecast of toxic substances local scale transport over Bulgaria, 32st NATO/SPS International Technical Meeting on Air Pollution Modelling and its Application 7-11 May, 2012, Utrecht, The Netherlands. (on a CD)
- Builtjes, P.J.H., van Loon, M., Schaap, M., Teeuwisse, S., Visschedijk, A.J.H. and Bloos, J.P. (2003) 'Project on the modelling and verification of ozone reduction strategies: contribution of TNO-MEP', TNO-report, MEP-R2003/166, Apeldoorn, The Netherlands.
- Byun, D., Ching, J. (1999) Science Algorithms of the EPA Models-3 Community Multiscale Air Quality (CMAQ) Modeling System. EPA Report 600/R-99/030, Washington DC.
- Byun, D., J. Young, G. Gipson, J. Godowitch, F.S. Binkowski, S. Roselle, B. Benjey, J. Pleim, J. Ching, J. Novak, C. Coats, T. Odman, A. Hanna, K. Alapaty, R. Mathur, J. McHenry, U. Shankar, S. Fine, A. Xiu, and C. Jang (1998) Description of the Models-3 Community Multiscale Air Quality (CMAQ) Modeling System, 10th Joint Conference on the Applications of Air Pollution Meteorology with the A&WMA, 11-16 January 1998, Phoenix, Arizona, 264-268.
- Byun D. and K.L. Schere (2006): Review of the Governing Equations, Computational Algorithms, and Other Components of the Models-3 Community Multiscale Air Quality (CMAQ) Modeling System, *Applied Mechanics Reviews*, **59**, No. 2, pp. 51-77.
- CEP (2003) Sparse Matrix Operator Kernel Emission (SMOKE) Modeling System, University of Carolina, Carolina Environmental Programs, Research Triangle Park, North Carolina.
- Coats, C.J., Jr., and Houyoux, M.R. (1996): Fast Emissions Modeling With the Sparse Matrix Operator Kernel Emissions Modeling System, *The Emissions Inventory: Key to Planning, Permits, Compliance, and Reporting*, Air and Waste Management Association, New Orleans, September
- Dennis, R. L., Byun, D. W., Novak, J. H., Galluppi, K. J., Coats, C. J., and Vouk, M. A (1996): The Next Generation of Integrated Air Quality Modeling: EPA's Models-3, *Atmosph. Environment*, **30**, pp.1925–1938.
- Dimitrova R., K. Ganev, Ch. Zerefos, A. Vasaras, (2001): Exchange of sulfur and nitrogen compounds between Bulgaria and Greece, estimated with a simple tree-layer pollution transport model. *Bulg. Geoph. J.*, v.XXVI, N°1-2
- Dimov, N., N. Miloshev, (1998). Emissions of atmospheric pollutants in Bulgaria. Part I - Pollution from combustible and production processes, *Bulg. Geoph. J.*, **XXIV**, N°1-2, 80-91.
- Dimov I., K. Georgiev, J. Wasniewski, Z. Zlatev (1996), Three-dimensional version of the Danish Eulerian model, *Lecture Notes in Computer Science*, **1041**, Springer, 151-157
- Dimov I., K. Georgiev, Z. Zlatev (1998), Long-range transport of air pollutants and source-receptor relations, *Notes on Numerical Fluid Mechanics*, **62**, Vieweg, 155-166
- Dimov I. and Z. Zlatev, (2002), [Optimization problems in air pollution modelling](#). In: "Handbook on Applied Optimization (P. M. Pardalos and M. G. C. Resende, eds.), pp. 943-956, Oxford University Press, Oxford-New York, 2002.
- Dimov I., K. Georgiev, Tz. Ostromsky and Z. Zlatev, (2004a), Computational challenges in the numerical treatment of large air pollution models, *Ecological Modelling*, Vol. 179, pp. 187-203.
- Dimov I., I. Farago, A. Havasi and Z. Zlatev, (2004b), [Operator Splitting and Commutativity Analysis in the Danish Eulerian Model](#), *Mathematics and Computers in Simulation*, Vol. 67, Issue 3, pp. 217-233.
- Dimov I., G. Geernaert and Z. Zlatev, (2005), Fighting the Great Challenges in Large-scale Environmental Modelling, *NATO Science, Series 2, Advances in Air Pollution Modeling for Environmental Security* (I. Fargo et al. Eds), Springer-Verlag, The Netherlands, Vol. **54**, pp. 105-114.
- Djolev G., D. Syrakov, (1979), Numerical model of long-range transport of atmospheric pollutants, *Comptes rend. Bulg. Acad. Sci.*, v. 32, No 12.
- Dudhia, J. (1993) A non-hydrostatic version of the Penn State/NCAR Mesoscale Model: validation tests and simulation of an Atlantic cyclone and cold front. *Mon. Wea. Rev.* 121, 1493-1513.
- Ebel A., K. Georgiev, Z. Zlatev (2007), Environmental modelling for security: future needs and development of computer networking, numerics and algorithms, *NATO Science, Series 2. Environmental Security, "Air, water and soil quality modelling for risk and impact assessment"*, Springer, pp. 351–356
- EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook, (2006)
- Etropolska I., Dimitar Syrakov, Kostadin Ganev, Maria Prodanova, Nikolai Miloshev, Kiril Slavov, Georgi Jordanov, (2010), A

- system for information and forecasting of air quality over Bulgaria, Proceedings of the 13th International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes — 1-4 June 2010, Paris, France. ISBN: 2-8681-5062-4, 530-534
- Etropolska I., M. Prodanova, D. Syrakov, K. Ganey, N. Miloshev, K. Slavov, (2011), Bulgarian Operative System for Chemical Weather Forecast, Lecture Notes in Computer Sciences, Dimov, I. S. Dimova, and N. Kolkovska (Eds.): LNCS 6046, c. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 141-149
- European Parliament (2002): DIRECTIVE 2002/3/EC of 12 February (2002) relating to ozone in ambient air, Official Journal of the European Communities (9.3.2002), **L67**, pp. 14-30.
- Fact Sheet Number 187, World Health Organization (WHO), (2000)
- Finlayson-Pitts B. and J.N. Pitts Jr. (1986) Atmospheric Chemistry, John Wiley and Sons, New York.
- Foster J., C. Kesselmann, (1998), The Grid: Blueprint for a New Computing Infrastructure, Morgan Kaufmann.
- Gadzhev G., G. Jordanov, K. Ganey, M. Prodanova, D. Syrakov, N. Miloshev (2011) Atmospheric Composition Studies for the Balkan Region, Lecture Notes in Computer Sciences, Dimov, I. S. Dimova, and N. Kolkovska (Eds.): LNCS 6046, c. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 150-157
- Gadzhev G., Georgi Jordanov, Kostadin G. Ganey, Maria Prodanova, Dimitar E. Syrakov and Nikolai G. Miloshev, (2010), Analysis of the processes which form the air pollution pattern over the Balkan peninsula, Proceedings of the 13th International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes — 1-4 June 2010, Paris, France. ISBN: 2-8681-5062-4, 156-160
- G. Gadzhev, D. Syrakov, K. Ganey, A. Brandijska, N. Miloshev, G. J. Georgiev, M. Prodanova, (2011a), Atmospheric composition of the Balkan region – some numerical experiments, Journal of International Scientific Publication: Ecology & Safety, Volume 5, 224-239, ISSN: 1313-2563
- Gadzhev G., G. Jordanov, K. Ganey, M. Prodanova, D. Syrakov, N. Miloshev, (2011b), Atmospheric Composition Studies for the Balkan Region, Lecture Notes in Computer Sciences, Dimov, I. S. Dimova, and N. Kolkovska (Eds.): LNCS 6046, c. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 150-157
- Gadzhev G., K. Ganey, M. Prodanova, D. Syrakov, N. Miloshev, (2011),c Biogenic Emissions Impact On The Atmospheric Composition In Bulgaria – 14th International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes, Kos Island, Greece, 2-6 October 2011., pp. 371-375, ISBN: 978-960-89650-6-5.
- Gadzhev G., D. Syrakov, K. Ganey, A. Brandijska, N. Miloshev, G. J. Georgiev, M. Prodanova, (2011d), Atmospheric composition of the Balkan region and Bulgaria – some numerical experiments, Third Conference of the Euro-American Consortium for Promoting the Application of Mathematics in Technical and Natural Sciences, Albena, Bulgaria, June 20-25, 2011, 200-209, DOI: 10.1063/1.3659921
- G. Gadzhev, D. Syrakov, K. Ganey, A. Brandijska, N. Miloshev, G. J. Georgiev, M. Prodanova, (2011e), Atmospheric composition of the Balkan region – some numerical experiments, Journal of International Scientific Publication: Ecology & Safety, Volume 5, 224-239, ISSN: 1313-2563
- Gadzhev G., K. Ganey, M. Prodanova, D. Syrakov, E. Atanasov, N. Miloshev, (2012a), Multi-scale atmospheric composition modelling for Bulgaria, 32st NATO/SPS International Technical Meeting on Air Pollution Modelling and its Application 7-11 May, 2012, Utrecht, The Netherlands. (on a CD)
- Gadzhev G., K. Ganey, D. Syrakov, N. Miloshev, M. Prodanova, (2012b), Contribution of Biogenic Emissions to the Atmospheric Composition of the Balkan Region and Bulgaria, International Journal of Environment and pollution, 50, 1-4, 130-139, ISSN: 0957-4352, IF 0.706)
- Gadzhev G., K. Ganey, N. Miloshev, D. Syrakov, M. Prodanova, (2013), Numerical Study of the Atmospheric Composition in Bulgaria, Computers and Mathematics with Applications, 65, 402-422, ISSN: 0898-1221, IF 1.472)
- Ganay K., D. Yordanov, (1981): Some examples of admixture transport in the Sofia field. (in Bulgarian), Bulgarian Geoph. J. v.VII, 3, 16-28.
- Ganay K., R. Dimitrova, D. Syrakov, Ch. Zerefos, (2003). Accounting for the mesoscale effects on the air pollution in some cases of large sulfur pollution in Bulgaria or Northern Greece, Environmental Fluid Mechanics, **3**, 41-53, IF 1.6
- Ganay K., Dimitrova, R., Todorova, A., Syrakov, D., Miloshev, N., Prodanova, M., (2007a), Dilution and Transformation Processes of the Air Pollution from the Road Transport – Study of The Models-3 System Sensitivity to Transport Scales and Grid Resolution, in Carruthers, D., and McHugh, C., (Eds.), Proc. of 11th Intern. Conf. on Harmonization within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes, Vol. 1: Oral Presentations, Cambridge, UK, 2-5 July 2007, pp.68-72.
- Ganay K., D. Syrakov, R. Dimitrova, A. Todorova, M. Prodanova, N.Miloshev, (2007b), Local to Regional Dilution and Transformation Processes of the Emissions from Road Transport. Proceedings of the 29th International Technical Meeting on Air Pollution Modelling and its Applications, 24-28 Sept 2007, Aveiro, Portugal.
- Ganay K., M. Prodanova, D. Syrakov, N. Miloshev, (2008a), Air pollution transport in the Balkan region and country-to-country pollution exchange between Romania, Bulgaria and Greece, Ecological Modelling, 217, 255–269
- Ganay K., D. Syrakov, A. Todorova, G. Gadzhev, N.Miloshev, M. Prodanova, (2008b), Study of regional dilution and transformation processes of the air pollution from road transport, Int. J. Environment & Pollution (accepted for publishing)
- Ganay K., N. Miloshev, M. Prodanova, D. Syrakov, K.Slavov, (2008c), Sencitivity analysis of MM5/CMAQ modeling system for ozone formation in Southeast Europe, 17th International Symposium ECOLOGY & SAFETY, June 9 - 13, 2008, Sunny Beach resort
- Ganay K., N. Miloshev, M. Prodanova, D. Syrakov, (2008d), Ozone formation in Southeast Europe simulated by an advanced air quality model. Proc. of VIII-th International Scientific Conference Modern Management of Mine Producing, Geology and Environmental Protection SGEM 2008, 16-20 June 2008, Albena, Bulgaria, 765-772
- Ganay K., D. Syrakov, G. Gadzhev, M. Prodanova, G. Jordanov, N.Miloshev, A. Todorova, (2009): Joint Analysis of Regional

- Scale Transport and Transformation of Air Pollution from Road and Ship Transport, Large-Scale Scientific Computing, LSSC 2009, Springer LNCS 5910, 188-195
- Ganev K., D. Syrakov, A. Todorova, G. Gadzhev, G. Jordanov, N. Miloshev, M. Prodanova, (2009): Joint analysis of dilution and transformation processes of air pollution from the road and ship transport. 7th International Conference on Air Quality Science and Application Istanbul, 24-27 March 2009. (on a CD)
- Ganev K., D. Syrakov, M. Prodanova, E. Atanasov, T. Gurov, A. Karaivanova, N. Miloshev, H. Chervenkov, (2009), Grid Computing for Air Quality and Environmental Studies in Bulgaria, 23rd EnviroInfo 2009 Conference - Environmental Informatics and Industrial Environmental Protection: Concepts, Methods and Tools, Berlin, September 9th - 11th 2009, v.1, 141-149
- Ganev K., D. Syrakov, A. Todorova, G. Gadzhev, N. Miloshev, M. Prodanova, (2011): Study of regional dilution and transformation processes of the air pollution from road transport, Int. J. Environment & Pollution Vol. 44, Nos. 1/2/3/4, 56-70, ISSN (Online): 1741-5101 - ISSN (Print): 0957-4352, IF 0.706
- Georgiev K., Z. Zlatev (1998), Running an advection-chemistry code on message passing computers, Lecture Notes in Computer Science, **1497**, Springer, 354-363
- Georgiev K., Z. Zlatev (1999), Parallel sparse matrix algorithm for air pollution models, Parallel and Distributed Computing Practices, **2**, No.4, 429-442
- Georgiev K., Z. Zlatev (2000), Some numerical experiments with the parallel version of the Danish Eulerian Model, Notes on Numerical Fluid Mechanics, **73**, Vieweg, 283-291
- Georgiev K., Z. Zlatev (2001), Fine-grid resolution in Danish Eulerian model and an implementation on SGI Origin 2000 computer, Lecture Notes in Computer Science, **2179**, Springer, 272 – 280
- Georgiev K., Z. Zlatev (2006), Treatment of Large Scientific Problems: An Introduction, Springer, Lecture Notes of Computer Science, **3732**, pp 828 – 830
- Georgiev K., E. Donev, 2006, On some ozone studies: comparison of model results and measurements over the territory of Bulgaria, Problems in Programming, No. 2–3, 767 – 770
- Gery, M.W., Whitten, G.Z., Killus, J.P., and Dodge, M.C. (1989): A Photochemical Kinetics Mechanism for Urban and Regional Scale Computer Modeling, Journal of Geophysical Research, **94**, pp.12925–12956.
- Grell, G.A., Dudhia J., and Stauffer D.R. (1994) A description of the Fifth Generation Penn State/NCAR Mesoscale Model (MM5). NCAR Technical Note, NCAR TN-398-STR, 138 pp.
- Guenther, A., Geron, C., Pierce, T., Lamb, B., Harley, P., and Fall, R. (2000): Natural Emissions of Non-Methane Volatile Organic Compounds, Carbon Monoxide, and Oxides of Nitrogen From North America, Atmospheric Environment, **34**, pp. 2205–2230.
- Health Aspects of Air Pollution. Results from the WHO Project Systematic Review of Health Aspects of Air Pollution in Europe, World Health Organization (WHO), 2004.
- Jacobi, Stefan, (2004), Clean Air for Europe - Report of the European Commission DG Environment, Unit C1, 9th Intern. Conf. on Harmonization within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory purposes, Garmisch-Partenkirchen, Germany, 1-4 June, 2004
- Jordanov G., Georgi Gadzhev, Kostadin G. Ganev, Maria Prodanova, Dimitar E. Syrakov, Nikolai G. Miloshev, (2010), Evaluation of the contribution of different source categories to the air pollution over the Balkan peninsula, Proceedings of the 13th International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes — 1-4 June 2010, Paris, France. ISBN: 2-8681-5062-4, 398-402
- Miloshev N., (1996). National CORINAIR Inventory for 1995, Executive Environment Agency - MoEW, 1997.
- Miloshev N., (1997). National CORINAIR Inventory for 1995, Executive Environment Agency - MoEW, 1997.
- Nenes, A., S.N. Pandis, C. Pilinis (1998): ISORROPIA: A new thermodynamic equilibrium model for multiphase multicomponent inorganic aerosols, Atmos. Chem. Phys., **4**, pp. 123-152, http://nenes.eas.gatech.edu/Preprints/ISORROPIA_AGPP.pdf
- Olivier, J.G.J., J.J.M. Berdowski, J.A.H.W. Peters, J. Bakker, A.J.H. Visschedijk and J.-P.J. Bloos (2001): Application of EDGAR. Including a description of EDGAR 3.0: reference database with trend data for 1970-1995. RIVM report No- 773301 001/NOP report No. 410200 051, RIVM, Bilthoven, The Netherlands.
- Pierce, T., Geron, C., Bender, L., Dennis, R., Tennyson, G., and Guenther, A., (1998): The Influence of Increased Isoprene Emissions on Regional Ozone Modeling, Journal of Geophysical Research, **103**, pp. 25611–25629.
- Prodanova M., D. Syrakov, Z. Zlatev, K. Slavov, K. Ganev, N. Miloshev, E. Nikolova, (2005a), Estimation Of Ozone Pollution Levels In Southeast Europe Using US EPA Models-3 System. Proc of the 3rd International Symposium on Air Quality Management at Urban, Regional and Local Scales, 26-30 September 2005, Istanbul, Turkey. Vol. I, pp. 517-526.
- Prodanova, M., Syrakov, D., Zlatev, Z., Slavov, K., Ganev, K., Miloshev, N., Nikolova E. (2005b), Preliminary results from the use of MM5-CMAQ system for estimation of pollution levels in southeast Europe, First Accent Symposium “The Changing Chemical Climate of the Atmosphere”, Urbino, Italy, September 12-16, 2005, p.122. (to be published in a book)
- Prodanova M., J. Pérez, D. Syrakov, R. San José, K. Ganev, N. Miloshev (2006a), Exchange of Ozone Pollution between Romania, Bulgaria and Greece, Proc of the 26th ITM on Air Pollution Modelling and Applications, May 13-19, 2006, Leipzig, Germany, 436-437.
- Prodanova M., J. Pérez, D. Syrakov, R. San José, Z. Zlatev, K. Ganev, N. Miloshev (2006b), Preliminary estimates of US EPA Model-3 system capability for description of photochemical pollution in Southeast Europe, Proc of the 26th ITM on Air Pollution Modelling and Applications, May 13-19, 2006, Leipzig, Germany, 438-445.
- Prodanova M., D. Syrakov, K. Ganev, N. Miloshev, S. Roglev, (2006c) Some cases of extreme air pollution in the city of Stara Zagora–Bulgaria, Proc. of the 28th ITM on Air Pollution Modelling and its Applications, 15-19 May 2006, Leipzig, Germany, 446-447.
- Prodanova M., J. Perez, D. Syrakov, R. San Jose, K. Ganev, N. Miloshev, S. Roglev, (2006d) Simulation of an extreme air

- pollution episode in the city of Stara Zagora – Bulgaria, Proc. of the 4th Intern. Conf. on Numerical Models Applications, 20-24 August 2006, Borovetz, Bulgaria. NMA'2006, T. Boyanov et al. (Eds), LNCS 4310, pp. 483-492, 2004, Springer 2007.
- Prodanova M., J. Perez, D. Syrakov, R. San Jose, K. Ganev, N. Miloshev, (2007), Local Scale Numerical Simulation of an extreme SO₂ Pollution Episode in Bulgaria, Proc. of the 6th International Conf. on Urban Air Quality, Cyprus, 27-29 March 2007, p. 261. (full text on CD)
- Prodanova M., J. Perez, D. Syrakov, R. San Jose, K. Ganev, N. Miloshev, S. Roglev, (2008a), Application of mathematical models to simulate an extreme air pollution episode in the Bulgarian city of Stara Zagora, Applied Mathematical Modelling 32, 1607–1619
- Prodanova M., D. Syrakov, K. Ganev, N. Miloshev, (2008b), Study of the Pollution Exchange between Romania, Bulgaria and Greece with the US EPA Models-3 system, Lecture Notes in Computer Sciences, Lirkov, S. Margenov, and J. Warsniewski (Eds.): LSSC 2007, LNCS 4818, pp. 433–441, c_Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2008
- Ryan, R. (2002): Memorandum: Speciation Profiles and Assignment Files Located on EMCH, US EPA Emission Factor and Inventory Group, http://www.epa.gov/ttn/chief/emch/speciation/emch_speciation_profile.pdf.
- Schaap, M., Timmermans, R.M.A., Roemer, M., Boersen, G.A.C., Builtjes, P.J.H. Sauter, F.J., Velders, G.J.M. and Beck, J.P. (2008) 'The LOTOS-EUROS model: description, validation and latest developments', International Journal of Environment and Pollution, 32, No. 2, pp.270–290.
- Schwede, D., G. Pouliot, and T. Pierce (2005): Changes to the Biogenic Emissions Inventory System Version 3 (BEIS3), Proc. of 4th Annual CMAS Models-3 Users's Conference, September 26-28, 2005, Chapel Hill, NC.
- Seinfeld J.H. and S. N. Pandis (1998), Atmospheric Chemistry and Physics, John Wiley and Sons, New York.
- Staehelin J., A.S.H. Prévôt and J. Barnes (2000), Photochemie der Troposphäre, Handbuch der Umweltveränderungen und Ökotoxikologie, Band 1A: Atmosphäre, R. Guderian, Ed., Springer Verlag, 207-341.
- Stauffer D.R. and N.L. Seaman, (1990), Use of four-dimensional data assimilation in a limited area mesoscale model. Part I: experiments with synoptic data, Mon. Wea. Rev. 118, pp.1250-1277.
- Syrakov D., G. Djolov, 1979, Lagrangian model for long-range atmospheric pollutant transport, Comptes rend. Bulg. Acad. Sci., v. 32, No 9
- Syrakov E., N.Godev, K.Ganev, (1983a): Formulation of the long-range diffusion problem taking into account the synoptic effects., Compt. rend. Acad. bulg. Sci., 36, No 7, 895-898., IF 0.2
- Syrakov E., N.Godev, K.Ganev, (1983b): Application of functions of influence for evaluation of air pollution due to long-range transport over Europe. , Compt. rend. Acad./ bulg. Sci., 36, No 8, 1043-1046. , IF 0.2
- Syrakov E., N.Godev, K.Ganev, (1983c): Numerical modeling of long-range transport of SO₂ and SO₄ above Europe., Compt. rend. Acad. bulg. Sci., 36, No 9, 1171-1174. , IF 0.2
- Syrakov E., N.Godev, K.Ganev, (1987a): Influence of synoptic conditions, orography and arranged vertical motions on the long-range pollutants transport., Proceedings of the WMO conference on air pollution modelling and its application., Leningrad, USSR, 19-24.05.1986, WMO/TD No 187, v. 1, 206-225.
- Syrakov E., K.Ganev, N.Godev, (1987b): A trajectory model for studying long range pollution transport in PBL., Proceedings of the WMO conference on air pollution modelling and its application., Leningrad, USSR, 19-24.05.1986, WMO/TD No 187, v.I, 226-239.
- Syrakov E., Ganev K. and Godev N., (1988a), Long-range transport of sulfur and nitrogen, taking into account the influence of the synoptic conditions, orography and arranged vertical motions. (in Bulgarian), Bulgarian Geoph. J. v.XIV, 1, 11-27.
- Syrakov E., Ganev K. and Godev N., (1988b): Estimation of the mutual pollution of different regions at distant and regional transport. (in Bulgarian), Bulgarian Geoph. J. v.XIV, 4, 10-21.
- Syrakov E., Ganev K., Godev N., Georgieva E., Bogdanov E., (1988c): A regional model for investigation of the sulphur and nitrogen transport over e teritory of complex topography. (in Bulgarian), Bulgarian Geoph. J. v.XIV, 1, 28-38.
- Syrakov E. and K. Ganev, (1989a), On the evolution of the PBL characteristics under nocturnal and convective conditions. (in Russian), Z. Meteorol., 39, 2, 76 -80.
- Syrakov E. and Ganev K., (1989b), Modeling of sulphur and nitrogen compounds transport within the PBL under nocturnal and convective conditions. (in Russian), Z. Meteorol., 39, 2, 81 - 88.
- Syrakov E., Ganev K., Godev N., Georgieva E. and Bogdanov E., (1989a), A telescopic approach for coordinated study of the air pollution at long-range and regional transport over a complex terrain, in: Special Environmental Report No.17 "Changing Composition of the Troposphere" - Extended Abstracts of the WMO Technical Conference. Sofia, Bulgaria, 23 - 27.10.1989 , WMO No.724, 189 - 192.
- Syrakov E., Ganev K., Godev N., Georgieva E., Bogdanov E., (1989b): A telescopic approach for co-ordinated study of the air pollution at long-range and regional transport over a complex terrain. (in Bulgarian), Bulgarian Geoph. J., v. XV, No 3, 9 - 21.
- Syrakov D., (1997a), A PC-oriented multi-level Eulerian dispersion model - model description, Bulgarian Journal of Meteorology and Hydrology, vol. 8, No 1-2, pp.41-49.
- Syrakov D., (1997b), Aerosol version of the multi-layer Eulerian dispersion model EMAP - sensitivity analysis and real data test run, Bulg. J. of Meteorol. and Hydrol., vol. 8, No 1-2, pp.82-88.
- Syrakov D., M.Prodanova, (1997), Sensitivity analysis of the dispersion model EMAP and real data run for estimating sulphur deposition over South-eastern Europe, Bulgarian Journal of Meteorology and Hydrology, vol. 8, No 1-2, pp.50-61.
- Syrakov D., Zerefos Ch. Prodanova M., Ganev K., Miloshev N., (2001): Exchange of sulphur pollution between Bulgaria and Greece, Proc. of the 2nd International Conference on Air Pollution Modelling and Simulation, April 9-12, Champs-sur-Marne, France.
- Syrakov D., M. Prodanova, K. Ganev, Ch. Zerefos, A. Vasaras (2002): Exchange of sulfur pollution between Bulgaria and Greece,

- Environmental Science and Pollution Research, **v.9**, No5, pp 321-326.
- Syrakov D., K. Ganev, M. Prodanova, N. Miloshev, G. Jordanov, E. Katragkou, D. Melas, A. Poupkou and K. Markakis, (2009a): Background Pollution Forecast over Bulgaria, Large-Scale Scientific Computing, LSSC 2009, Springer LNCS 5910, 531-537
- Syrakov D., M. Prodanova, N. Miloshev, K. Ganev, G. Jordanov, V. Spiridonov, A. Bogatchev, E. Katragkou, D. Melas, A. Poupkou, and K. Markakis, 2009b: Climate Change Impact Assessment of Air Pollution Levels in Bulgaria, Large-Scale Scientific Computing, LSSC 2009, Springer LNCS 5910, 538-546
- Syrakov D., V. Spiridonov, K. Ganev, M. Prodanova, A. Bogatchev, N. Miloshev, K. Slavov, E. Katragkou, D. Melas, A. Poupkou and K. Markakis, (2010): Exploiting GRID for Model Estimates of Regional Climate Changes and Its Impact on the Air Quality of Bulgaria, in Todorov M. and Chr. Christov (eds.), APPLICATION OF MATHEMATICS IN TECHNICAL AND NATURAL SCIENCES: Proceedings of the 2nd International Conference, Sozopol, (Bulgaria), 21–26 June 2010, AIP Conference Proceedings v.1301, pp. 669-677.
- Syrakov D., V. Spiridonov, K. Ganev, M. Prodanova, A. Bogachev, N. Miloshev, K. Slavov, (2011), First Results of SEE-GRID-SCI Application CCIAQ, Lecture Notes in Computer Sciences, Dimov, I. S. Dimova, and N. Kolkovska (Eds.): LNCS 6046, c. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 215-223
- Syrakov D., V. Spiridonov, M. Prodanova, A. Bogatchev, N. Miloshev, K. Ganev, E. Katragkou, D. Melas, A. Poupkou, Kostas Markakis, R. San Jose and J. L. Pérez, (2011), A system for assessment of climatic air pollution levels in Bulgaria: description and first steps towards validation, Int. J. Environment & Pollution Vol. 46, Nos. 1/2, 8-42, ISSN (Online): 1741-5101 - ISSN (Print): 0957-4352, IF 0.706
- Syrakov D., K. Ganev, M. Prodanova, N. Miloshev, K. Slavov, (2012), Fine resolution modeling of climate change impact on future air quality over Bulgaria, 32st NATO/SPS International Technical Meeting on Air Pollution Modelling and its Application 7-11 May, 2012, Utrecht, The Netherlands. (on a CD)
- Todorova A., G. Gadzhev, G. Jordanov, D. Syrakov, K. Ganev, N. Miloshev and M. Prodanova, (2009): Numerical Study of Some High PM10 Levels Episodes, Large-Scale Scientific Computing, LSSC 2009, Springer LNCS 5910, 231-236
- Todorova A., Kostadin G. Ganev, Dimitar E. Syrakov, Maria Prodanova, Georgi J. Georgiev, Nikolai G. Miloshev and Georgi K. Gadzhev, (2010), Bulgarian emergency response system for release of hazardous pollutants – design and first tests, Proceedings of the 13th International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes — 1-4 June 2010, Paris, France. ISBN: 2-8681-5062-4, 495-499
- Todorova A., Syrakov D., Gadzhev G., Georgiev G., Ganev K., Prodanova M., Miloshev N., Spiridonov V., Bogatchev A., Slavov K. (2010) Grid computing for atmospheric composition studies in Bulgaria, Earth Sci Inform 3: 259–282, DOI 10.1007/s12145-010-0072-1., IF=0.657
- Todorova A., G. Gadzhev, G. Jordanov, D. Syrakov, K. Ganev, N. Miloshev and M. Prodanova, (2011), Numerical study of some high PM10 level episodes, Int. J. Environment and Pollution, Vol. 46, Nos. 1/2, 69-82, ISSN (Online): 1741-5101 - ISSN (Print): 0957-4352, IF 0.706
- Todorova A., K. Ganev, D. Syrakov, M. Prodanova, G. Georgiev, N. Miloshev, G. Gadzhev, (2012) Bulgarian emergency response system for release of hazardous pollutants - design and first tests, 2012, D. Stein and S.Trini Castelli (eds.) Air Pollution Modelling and its Application XXI, NATO Science for Peace and Security Series C: Environmentl Security 4, 263-268, Springer Science+Business Media B.V., DOI 10.1007/978-94-007-1359-8_45
- Vestreng V., (2001), Emission data reported to UNECE/EMEP: Evaluation of the spatial distribution of emissions. Meteorological Synthesizing Centre - West, The Norwegian Meteorological Institute, Oslo, Norway, Research Note 56, EMEP/MS-C-W Note 1/2001.
- Vestreng V., K. Breivik, M. Adams, A. Wagner, J. Goodwin, O. Rozovskaya, J.M. Pacyna, (2005), Inventory Review 2005 (Emission Data reported to LRTAP Convention and NEC Directive), Technical Report MSC-W 1/2005, EMEP
- Visschedijk A. J. H., P.Y.J. Zandveld and H.A.C. Denier van der Gon, (2007), A High Resolution Gridded European Emission Database for the EU Integrate Project GEMS, TNO-report 2007-A-R0233/B, Apeldoorn, The Netherlands.
- Yordanov D., G. Djolov, D. Syrakov, (1979a), Effect of planetary boundary layer on long-range transport and diffusion of pollutants Comptes rend. Bulg. Acad. Sci.,v. 32, No 12.
- Yordanov D., G. Djolov, D. Syrakov, (1979b), Influence of vertical motions induced by frictional convergence in planetary boundary layer on long-range pollution, Proc. of WMO Symposium on the Long-Range Transport of Pollutants and its Relation to General Circulation including Tropospheric Exchange Processes, WMO, No 538, pp. 367-370.
- Zerefos Ch., K.Ganev, D.Syrakov, A.Vasaras, M.Tzortziou, M.Prodanova, E.Georgieva, (1998): Numerical Study of the Total SO₂ Contents in the Air Column Over the City of Thessaloniki, Proceedings of the XIII International Technical Meeting on Air Pollution Modelling and its Applications, 28.09-02.10. 1998, Varna, Bulgaria. Kluwer Academic/Plenum Publ. Corp., pp. 175-182
- Zerefos C., K.Ganev, K.Kourtidis, M.Tzortziou, A.Vasaras, E.Syrakov (2000): On the origin of SO₂ above Northern Greece. Geophysical Research Letters, **v. 27**, No.3, pp.
- Zerefos Ch., D. Syrakov, K. Ganev, A. Vasaras, K. Kourtidis, M. Tzortziou, M. Prodanova, R. Dimitrova, E. Georgieva, D. Yordanov, N. Miloshev, (2004a): Study of the pollution exchange between Bulgaria and Northern Greece, proceedings of the 4th International Conference on "Large-Scale Scientific Computations" 4-8 June, 2003, Sozopol, Bulgaria. Springer Lecture Notes in Computer sciences, LNCS, vol.**2907**
- Zerefos Ch., D. Syrakov, K. Ganev, A. Vasaras, K. Kourtidis, M. Tzortziou, M. Prodanova, R. Dimitrova, E. Georgieva, D. Yordanov, N. Miloshev, (2004b), Study of the pollution exchange between Bulgaria and Northern Greece. Int. J. Environment & Pollution, vol. **22**, No.1/2, 163-185
- Zlatev, Z. (1995), Computer Treatment of Large Air Pollution Models. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht-Boston-London.
- Zlatev, Z. and Syrakov, D., (2004a), A fine-resolution modelling study of pollution levels in Bulgaria. Part 1: SO_x and NO_x

- pollution, *International Journal of Environment and Pollution*, **22**, No.1/2, 186-202.
- Zlatev, Z. and Syrakov, D., (2004b), A fine-resolution modelling study of pollution levels in Bulgaria. Part 2: high ozone levels. *International Journal of Environment and Pollution*, **22**, No.1/2, 203-222.
- Zlatev Z. and I. Dimov, (2006), *Computational and Numerical Challenges in Environmental Modelling*, Elsevier, Amsterdam-Boston-Heidelberg-London-New York-Oxford-San Diego-San Francisco-Singapore-Sydney-Tokyo
- Zlatev, Z. and Batchvarova E, (2007), Large-Scale Air Pollution Models, In eds Melas and Paleo, *Regional Transboundary Transport of Air Pollution: An Introductory Science Review*, Universidad de Extremadura, Servicio de Publicaciones, 33-62.
- Ганев, К., Р. Лазаров, (1979). Применение метода разщепления для решения осесимметрической задачи мезометеорологии, *Bulg. Geoph. J.*, **V**, N°4, 11-21
- Ганев, К., (1981). Някой резултати от численото моделиране на мезо-метеорологичните процеси в Софийското поле, *Bulg. Geoph. J.*, **VII**, N°3, 16-28.
- Ганев, К., (1995). Термичен и влажностен режим на подложната повърхност в един трислоен модел на локалния климат, *Bulg. Geoph. J.*, **XXI**, N°4, 3-13.
- Ганев, К., (1996). Числен модел на мезомасштабната динамика на атмосферата с параметризирана вертикална структура, *Bulg. Geoph. J.*, **XXII**, N°1, 15-30.
- Джолов Г., Д. Сираков, Д. Йорданов, (1983).: Исследование дальнего переноса загрязнителей атмосферы в районе Юго-Восточной Европы, *Българско геофизично списание*, т. IX, No 3
- Национална методика за инвентаризация на емисиите в атмосферата, утвърдена със Заповед № РД- 299/16.06.2000 на Министъра на Околната среда и водите.
- Сираков Д., Г. Джолов, Д. Йорданов, (1982): Моделирование дальнего переноса загрязнителей с учетом влияния планетарного пограничного слоя, *Българско геофизично списание*, т.VIII, No 1.
- Global Monitoring for Environment and Security: joint EU-ESA initiative to bring environmental and security data and information providers together with users (http://www.europa.eu.int/comm/space/gmes/index_en.htm)
- <http://air-climate.eionet.eu.int/>
- http://bg.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%B7%D0%BE%D1%82%D0%B5%D0%BD_%D0%B4%D0%B8%D0%BE%D0%BA%D1%81%D0%B8%D0%B4
- <http://brg.space.bas.bg/di/di.htm>, <http://en.wikipedia.org/wiki/Ozone>
- <http://cfpub.epa.gov/airnow/index.cfm?action=airnow.main>
- <http://cfpub.epa.gov/airnow/index.cfm?action=airnow.main>
- <http://eea.government.bg/bg/output/daily/pollutants/n2o.html>
- <http://eea.government.bg/bg/output/daily/pollutants/nh.html>
- <http://eea.government.bg/bg/output/daily/pollutants/pm.html>
- <http://eea.government.bg/bg/output/daily/pollutants/s2o.html>
- <http://en.wikipedia.org/wiki/Ammonium>
- <http://en.wikipedia.org/wiki/Isoprene>
- <http://engineering-review.bg/engineering-statii.aspx?br=43&rub=465&id=1225>
- <http://www.cmascenter.org/>
- http://www.eurad.uni-koeln.de/index_e.html
- PRÉVisions et observations de la qualité de l'AIR en France et en Europe (Air Quality forecasts and observations in France and Europe) <http://www.prevoir.org/en/index.html>
- PROtocol MONiToring for the GMES Service Element: <http://www.gse-promote.org/>
- PROtocol MONiToring for the GMES Service Element: <http://www.gse-promote.org/>